



FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

Propuesta de extensión del protocolo IEEE
802.11 en modo PCF para ampliar la cobertura de
celdas en una WLAN mediante nodos relay

Presentado por:

Helen Stephany Zegarra Zegarra

Para optar el Título Profesional de:
**INGENIERA ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

Orientador: Dr. Gonzalo Mauricio Fernández del Carpio

Arequipa, Mayo de 2019

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES

**Propuesta de extensión del protocolo
IEEE 802.11 en modo PCF para ampliar
la cobertura de celdas en una WLAN
mediante nodos relay**

Autor: Helen Stephany Zegarra Zegarra

Mayo, 2019

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la
energía atómica: la voluntad.”

Albert Einstein, 1879-1955

Índice general

Abstract	7
Resumen	9
1 Introducción	11
1.1 Motivación y contexto	12
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Metodología	14
1.5 Consideraciones complementarias	14
1.5.1 Recursos y materiales	14
1.5.2 Cronograma de Trabajo	15
2 Marco teórico	17
2.1 Redes IEEE 802.11	17
2.1.1 Introducción	17
2.1.2 Estándares 802.11.a/ 802.11.b / 802.11.g / 802.11.ac	17
2.1.3 802.11.n	17
2.1.4 802.11.ac	18
2.1.5 Otros estándares 802.11	19
2.1.6 Arquitectura de 802.11	20
2.1.7 Control de acceso al medio en 802.11	22
2.1.8 Trama de IEEE 802.11	23
2.2 Servicio de WLAN de uso público	23
2.2.1 Problemas comunmente presentados en las redes públicas IEEE 802.11	24
2.2.2 Redes inalámbricas locales de alta eficiencia (High Efficiency Wireless Networks HEWs)	25
2.3 Redes inalámbricas móviles	25
2.3.1 Redes ad-hoc móviles o redes MANET	26
2.3.2 Redes ad-hoc móviles vehiculares o redes VANET	26
2.3.3 Redes dispositivo a dispositivo (Device to Device D2D)	27

3	Estado del arte	31
3.1	Aspectos de conexión inalámbrica en un entorno de redes inalámbricas interiores	31
3.1.1	Otras tecnologías inalámbricas para conexiones heterogéneas	32
3.2	Wi-Fi IEEE 802.11	33
3.3	Perspectivas del desarrollo de Wi-Fi de nueva generación	33
3.3.1	Técnicas de la capa física PHY	34
3.3.2	Técnicas de acceso al medio (MAC)	37
3.3.3	Método de selección de Access Point para IEEE 802.11	41
3.3.4	Técnicas de balanceo de carga en redes LAN inalámbricas	42
4	Propuesta de solución	45
4.1	Contexto de la red en modo PCF (nodo maestro - nodos secundarios)	45
4.2	Estados de funcionamiento de la propuesta	45
4.3	Modificación del funcionamiento del modo de operación PCF de Wi-Fi	46
4.4	Escenarios de los posibles eventos	47
4.4.1	Escenario 1: Nuevo nodo fuera de cobertura solicita conexión	48
4.4.2	Escenario 2: Desconexión del <i>Nodo R</i> del <i>Nodo X</i>	51
4.4.3	Escenario 3: Desconexión del nodo X por cambio de posición	52
4.4.4	Escenario 4: Surgimiento de dos o más nodos Relay en la red	52
4.4.5	Escenario 5: Falta de capacidad en la celda para el surgimiento de un <i>Nodo R</i>	55
4.4.6	Surgimiento de un nodo Relay con dos <i>Nodos X</i> conectados	55
4.5	Modelo de probabilidad de la propuesta	57
5	Simulaciones y resultados	61
5.1	Alcances de la simulación	61
5.2	Descripción de las condiciones de la simulación	61
5.2.1	Condiciones del escenario	61
5.2.2	Condiciones simuladas	62
5.3	Descripción de la implementación	62
5.3.1	Objetos simulados	63
5.4	Implementación de la simulación	63
5.5	Características gráficas de la simulación	64
5.6	Resultados	66
5.6.1	Resultados en una red de tres Access Points	68
5.6.2	Resultados con red de seis Access Points	70
5.6.3	Resultados de red de nueve Access Points	71
6	Conclusiones y trabajos futuros	85
6.1	Conclusiones	85
6.2	Trabajos futuros	86
	Bibliografía	89

Índice de figuras

1.1. Red pública con gran número de usuarios. [Fuente: Elaboración Propia]	13
2.1. Esquema de una BSS [1].	21
2.2. Modelo de Red Ad-Hoc [1].	21
2.3. Trama de IEEE 802.11.	23
2.4. Elementos que conforman una red de alta eficiencia. [Basado en [2]] .	26
3.1. Tecnologías de comunicaciones inalámbricas [3].	32
3.2. Comparación entre OFDM y OFDMA [2].	35
3.3. Funcionamiento de un canal MU-MIMO.	36
3.4. Modelos de transmisión de IBFD [4].	37
3.5. Distribución del funcionamiento del DCF Background.	38
3.6. Esquema de agregación de tramas A-MSDU [?].	39
3.7. Esquema referencial del funcionamiento de la propuesta de MAC Multiusuario.	41
3.8. Técnica de descongestión de celdas [5].	42
3.9. Modelo de selección de canales [5].	43
4.1. Ilustración del escenario planteado. [Elaboración propia]	46
4.2. Posición del periodo <i>idle</i> en una celda (Elaboración propia).	47
4.3. Envío de mensaje de requerimiento de conexión del <i>Nodo X</i> (Elaboración propia).	48
4.4. Comportamiento del <i>Nodo R</i> y <i>Nodo X</i> en la red (Elaboración propia).	48
4.5. Escenario en el que un <i>Nodo X</i> requiere conexión y está fuera de cobertura.	49
4.6. Solicitud de formación de <i>Nodo R</i> del nuevo dispositivo.	50
4.7. Formación del <i>Nodo R</i>	50
4.8. Desplazamiento del <i>Nodo R</i> (<i>Nodo X</i> queda fuera de la cobertura del <i>Nodo R</i>).	51
4.9. Envío de Tramas ACK que no llegan a su destino.	52
4.10. Desconexión del <i>Nodo X</i> por falta de capacidad del <i>Nodo R</i>	53
4.12. Escenario cuando hay dos nodos que buscan un <i>Nodo R</i> a la vez. . .	53
4.11. Desplazamiento del <i>Nodo X</i>	54
4.13. Establecimiento de un <i>Nodo R</i> y luego otro <i>Nodo X</i> en espera. . . .	54
4.14. Escenario cuando no existe una conexión disponible.	55
4.15. Escenario en el cuál existe un <i>Nodo R</i> , que provee conexión a dos <i>Nodos X</i>	56

4.16. Comportamiento del <i>Nodo R</i> , con dos <i>nodos X</i>	56
4.17. Modelo único del escenario planteado.	57
4.18. Probabilidad de conexión de los nodos, según se incrementa el número de nodos, empleando Wi-Fi estándar.	59
4.19. Comparación de la probabilidad de conexión de nodos con Wi-Fi modificado o extendido y con Wi-Fi estándar.	59
5.1. Ventana de inicio de simulación.	65
5.2. Ventana de la vista principal de la simulación.	66
5.3. Captura de la simulación de pantalla de información general del nodo.	66
5.4. Captura de la simulación de los nodos conectados a una AP.	67
5.5. Captura de la ventana que muestra los dispositivos en movimiento.	67
5.6. Captura de la ventana con la información del nodo móvil.	68
5.7. Red saturada con nodos Relay.	68
5.8. Resultado del número de nodos conectados en la red de 3 APs.	69
5.9. Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 3 APs.	70
5.10. Porcentaje de nodos conectados en función del tiempo en una red de 3 APs.	71
5.11. Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar en una red de 3 APs.	72
5.12. Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una red de 3 APs.	73
5.13. Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una red de 3 APs.	74
5.14. Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 3 APs.	75
5.15. Simulación planteada con una red de 6 APs.	75
5.16. Resultado de nodos conectados en una red de 6 APs.	76
5.17. Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 6 APs.	76
5.18. Porcentaje de uso del ancho de banda según el tiempo, en una red de 6 APs.	77
5.19. Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar, en una red de 6 APs.	77
5.20. Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una red de 6 APs.	78
5.21. Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una red de 6 APs.	78
5.22. Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 6 APs.	79
5.23. Simulación con red saturada de 9 APs.	79

5.24. Resultado del número de nodos conectados en función del tiempo en una red de 9 APs.	80
5.25. Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 9 APs.	81
5.26. Porcentaje de uso del ancho de banda en la red en función del tiempo en una red de 9 APs.	82
5.27. Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar, en una red de 9 APs.	82
5.28. Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una Red de 9 APs.	83
5.29. Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una Red de 9 APs.	83
5.30. Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 9 APs.	84

Índice de cuadros

1.1. Cronograma de trabajo	15
2.1. Estándares comunes de IEEE 802.11[Basado en [6] y [7]].	18
2.2. Otros estándares de IEEE 802.11[Basado en [2]y [6]].	28
2.3. Otros estándares de IEEE 802.11. [Basado en [2] y [6]]	29
2.4. Definición de los campos y subcampos de la trama IEEE 802.11 [1, 8].	30
3.1. Tabla de comparación de tecnologías inalámbricas [3],[9, 7].	34
5.1. Parámetros de simulación de una Red de 3 APs.	69
5.2. Parámetros de simulación de una red de 6 APs.	70
5.3. Parámetros de simulación de una red de 9 APs.	72

Abstract

Nowadays, technologies keep on growing more and more. Each year the number of devices connected to Internet increase. Actually, a huge variety of new wireless devices are connected to wireless networks, which did not allow to serve all the bandwidth required for each device. As a consequence, the requirement of traffic is increasing due to the new applications that involve the interaction of the users uploading and interacting with applications in the network, sometimes the Internet Service provided by this type of networks is limited or deficient. That is the main reason why new concepts as Dense Networks or High Efficiency Wireless networks became an important topic of the wireless technologies development. As an improvement to this issue, this work propose the developement of a mechanism that allows expand the Base Set Station (BSS) coverage area by generating *Relay Nodes*, in an random way that aim to optimize the effiience of the network These *Relay Nodes* will allow devices that are realtively close to the BSS, but not in the coverage area, to access to a connection in the network. The average maximal improvement percentage of bandwidth use is 25 % and the average increase percentage of number of connected devices is 15 %, expanding the coverage range of the BSS. And giving as final result, a significative improvement in the better network ressource use.

Resumen

Actualmente el desarrollo de nuevas tecnologías, genera una mayor cantidad de tráfico entre las redes de uso público que con el tiempo se vuelven más densas y con poca capacidad para responder a todos los usuarios actualmente existentes. En estas redes, tales como las redes de campus universitarios, hospitales, escuelas y centros comerciales; la cantidad de dispositivos conectados se incrementa cada vez más y en muchos casos, estos dispositivos tienen un mayor requerimiento de ancho de banda, debido al empleo masivo de nuevas aplicaciones que permiten al usuario, una mayor interacción con su entorno y con la red. Es por esto que la distribución actual de redes no es capaz de cumplir con todos los requerimientos de ancho de banda de todos los usuarios. Por lo que se propone una solución a este problema, ampliando la cobertura de las celdas en la red aplicando un mecanismo de extensión del protocolo IEEE 802.11 Wi-Fi en modo PCF (Point Coordination Function), empleando *Nodos Relay*, que de manera aleatoria brindan conexión a los dispositivos que se encuentran fuera del alcance del área de cobertura de la celda en caso la celda brinde las condiciones de ancho de banda disponible y alcance en el radio de cobertura. Esta propuesta amplía el rango de cobertura de la celda de la red, logrando que dispositivos que no encuentran la capacidad de conectarse debido a que no se encuentran cerca de una celda de la red, o que se encuentran en una celda que ya no tiene ancho de banda disponible para brindar conexión a más usuarios, puedan ser capaces de conectarse a la red. Lo que nos da como resultado una mejora en el número de usuarios conectados a la red y en el mejor aprovechamiento del uso de ancho de banda de la red, que según los resultados obtenidos puede variar en una mejora máxima del 25% del porcentaje de uso de ancho de banda en la red y un 15 % en el incremento del número de usuarios conectados a la red, ampliando así el rango de cobertura de la celda de Wi-Fi. Obteniendo como consecuencia una mejora significativa en el uso de recursos en la red.

1 Introducción

El paradigma emergente del Internet del Todo (Internet of Everything IoE) y el desarrollo constante del Internet de las Cosas (Internet of Things IoT), junto con la necesidad existente de conexión a los servicios de Internet en todo lugar, dan como resultado una creciente demanda del tráfico en Internet. Una de las principales causas es la existencia de nuevas tecnologías conectadas a Internet, que implican un mayor requerimiento de consumo de ancho de banda y capacidad de conexión, en un entorno de redes que se encuentran en establecimientos de gran tamaño, que traen consigo un incremento en el servicio de Hotspots o puntos de acceso públicos. Como consecuencia, según [2], se estima que para este año, el despliegue de dispositivos conectados a la red, sea más de siete veces que en 2016. Así mismo, se origina una creciente demanda de los usuarios por mantenerse conectados, debido la difusión de nuevos tipos de aplicaciones, que involucran la gestión y creación de contenidos multimedia o de streaming, ampliando el número de usuarios conectados a la red. En consecuencia, se genera una mayor cantidad de tráfico de datos requerido para este tipo de aplicaciones, según [10].

Esta tendencia se observa a través del tiempo, es así que en el año 2014 la tasa de transferencia de datos por persona en el mundo fue de 3,6 Exabytes por mes [11]. En los últimos años, de acuerdo a [12], se observa un patrón similar, mostrando que el uso de los datos móviles se ha incrementado aproximadamente de 70 % a 200 % por año. Según Cisco, el tráfico IP (Internet Protocol) crece en una tasa compuesta de crecimiento anual CARG(Compound annual growth rate) de 23 %, alcanzando 2 Zettabytes por año para el 2019 [2].

En las redes inalámbricas, las características deseadas para facilitar la evolución de algunas de las tecnologías emergentes anteriormente mencionadas son la flexibilidad, la heterogeneidad y la interoperabilidad. Incluyendo como característica, un esquema dinámico en el que se desarrollen redes inalámbricas de alta eficiencia HEWs(High Efficiency Wireless Networks), que permitan un avance en la gestión de estas y así satisfacer la demanda de conexión, ampliando el despliegue de puntos de conexión a Internet en todo lugar.

Este trabajo consiste en proponer una mejora al protocolo Wi-Fi actual, mediante un mecanismo dinámico que permita ampliar la capacidad de conexión de dispositivos e incrementar el área de cobertura de las celdas. Se implementará una solución que propone la activación de un Nodo Relay, que se origine cuando sea necesario y la capacidad de la celda se lo permita, dando como resultado una extensión del protocolo Wi-Fi que permita la ampliación del área de cobertura en cada celda.

1.1. Motivación y contexto

En la actualidad tenemos un amplio despliegue de redes inalámbricas Wi-Fi en los diferentes entornos públicos, con un requerimiento de conexión mayor que se incrementa con el tiempo debido al surgimiento de nuevos dispositivos esenciales para la comunicación en nuestros días, tales como smartphones, tablets, laptops, dispositivos wearables, entre otros. El entorno de las redes Wi-Fi en espacios públicos actual, no cubre la capacidad de conexión dado por el gran número de usuarios que recibe, que convierte a este tipo de redes en redes densas. El servicio de Internet actual ofrecido por las redes inalámbricas que se encuentran en espacios públicos tiene muchas deficiencias y deja a muchos usuarios sin capacidad de conexión por lo que es importante incrementar la conexión ampliando la cobertura de las celdas y como consecuencia brindando acceso a más usuarios para tener mejor servicio de Internet en espacios públicos.

1.2. Planteamiento del problema

El desarrollo de nuevas tecnologías trae consigo nuevos retos y perspectivas en un futuro no muy lejano, este desarrollo presenta un nuevo problema, mayor requerimiento de conexión e incremento en el número de usuarios en la red. Siendo una de las principales causas a este problema, la conexión y desconexión de usuarios en la red, otra de las causas es el planteamiento desproporcionado de las infraestructuras desplegadas en las redes inalámbricas públicas, que al no poseer un sistema de control y acceso definido, no tienen la capacidad para brindar conexión a todos los usuarios. Este tipo de problemas generan una baja Calidad de Servicio (QoS), que al no poseer un control definido de usuarios, genera problemas como la falta de cobertura, solapamiento de redes y sobredimensionamiento de usuarios debido a las múltiples conexiones IP existentes en una misma red [13]. Los entornos públicos involucrados son tales como universidades, escuelas, hospitales, municipalidades, etc.

Por ejemplo, presentamos en la Figura 1.1 se presenta un edificio público con diferentes APs en cada espacio delimitado, cada AP posee un número de conexiones disponibles específicas para cada caso delimitado por el espacio en el que se encuentra. Al ingresar un usuario nuevo, este se conecta a la red que está más cercana y posee mayor potencia, pero en este escenario podría suceder que al realizar la conexión no exista la capacidad de servicio necesaria para realizar la transferencia de datos en la red, debido a que en el mismo AP se encuentran conectados otros usuarios que pertenecen a otro espacio y poseen otro AP asignado para ellos. Este problema surge comúnmente en los espacios públicos, donde el dimensionamiento de la red está dado para ciertas características y número de usuarios, es por esto que en ciertos casos como cuando los dispositivos se encuentran fuera del área de cobertura de las celdas de la red, se produce una falta de capacidad de conexión.

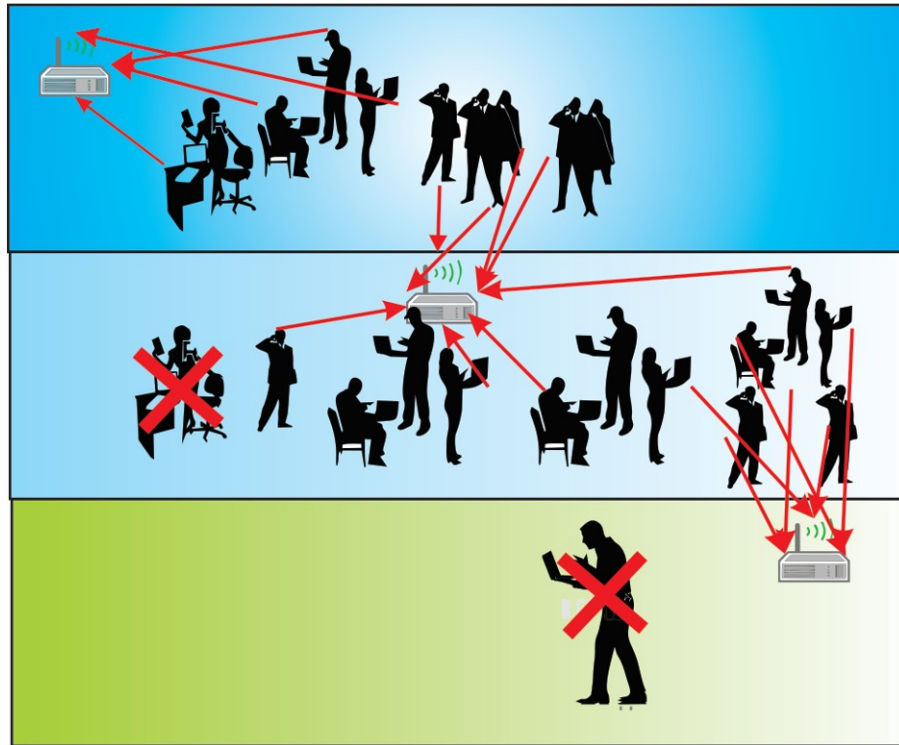


Figura 1.1: Red pública con gran número de usuarios. [Fuente: Elaboración Propia]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

En el presente trabajo se propone una extensión al protocolo genérico 802.11, en la modalidad PCF (Point Coordination Function), para habilitar la capacidad de brindar conectividad a dispositivos inalámbricos que estén fuera del área de cobertura de los puntos de acceso, en un entorno de redes públicas de uso masivo, mediante el uso de nodos relay que estén dentro de las celdas.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar el protocolo 802.11 modo PCF para encontrar las oportunidades de mejora del protocolo, con el fin de conectar nodos externos a las áreas cobeturdadas, en caso éstas tengan capacidad sobrante y estos nodos externos se encuentren cerca de las áreas de cobertura.
2. Diseñar la solución, estableciendo condiciones y mecanismos que permitirán que los nodos dentro de una celda puedan actuar como puntos de acceso intermedio a nodos que estén fuera del área de cobertura.

3. Comprobar los beneficios de la propuesta, en cuanto a la eficiencia del uso del ancho de banda que se producirá en la red, mediante el desarrollo de una simulación.

1.4. Metodología

Esta es una tesis de carácter experimental y aplicativo, que se requiere probar mediante una simulación. Se propone la realización de un modelo que cumpla con las características necesarias para demostrar la solución propuesta por el trabajo, por lo que se emplearán escenarios con parámetros que recreen situaciones similares a las reales.

1. Basándose en el estudio y el comportamiento de las redes inalámbricas, se plantean las características del funcionamiento de una red inalámbrica pública, definiendo los problemas y las características de los modelos de red a emplear en la simulación.
2. Después se procede a investigar más sobre este tipo de problemas y soluciones en redes planteadas en los últimos artículos científicos, para hallar la relevancia de este problema y que es un tema recurrente en la actualidad. Debido al incremento del número de usuarios y la cantidad de tráfico por los nuevos requerimientos para la implementación de estas tecnologías, se revisará las últimas propuestas de solución a este tipo de problema para realizar la propuesta de solución.
3. Luego, plantearemos un diseño de red que contenga un modelo con características similares a las reales que nos permita realizar las pruebas requeridas para probar el mecanismo propuesto.
4. Finalmente, realizaremos una simulación basándose en la plataforma de programación de Eclipse en Java, para demostrar el funcionamiento del modelo planteado.

1.5. Consideraciones complementarias

1.5.1. Recursos y materiales

Para la realización de este modelo, se emplearon los siguientes recursos:

- Plataforma de desarrollo :Java Eclipse Neon, sistema que nos permite generar y crear simulaciones en Java de una manera muy versátil para realizar modelos o simulaciones que incluyan gráficos y animaciones.
- Software: Matlab, para el procesamiento estadístico de los datos obtenidos según la simulación, para una mejor representación de los datos obtenidos.

- PC: Emplearemos una PC, para ejecutar la simulación.
- Bases de datos de artículos científicos: Estas bases nos permitirán obtener datos y alcances de modelos y soluciones que se plantean, empleando los conceptos de las redes Wi-Fi.

1.5.2. Cronograma de Trabajo

El cronograma de trabajo se especifica en el Tabla 1.1, que se muestra a continuación:

Actividad	Duración (Semanas)
Información de posibles temas	1-3
Investigación de posibles tema de tesis	4-5
Elección de tema de tesis	6
1° Reunión: Definir parámetros de trabajo	7
Investigación de información sobre redes Wi-Fi	8-10
Investigación sobre protocolo 802.11	11-12
Implementación del modelo planteado en ns-3	13
Información sobre posibles softwares alternativos	14
Implementación de un modelo tentativo en Java	15
Entregar el 1° informe de Tesis I	16
Preparar exposición de Tesis I	17
Presentación de Tesis I	18
Inicio de desarrollo del proyecto de Tesis II	19
Planteamiento de los pasos a seguir	20
Implementación de la interfaz de inicio del modelo	20 -30
Implementación de la interfaz gráfica	30-33
Redacción del informe final	34-35
Presentación del Informe de Tesis II	36
Finalización de la Implementación	36-40
Preparar presentación de Tesis II	41
Presentación de Tesis II	42

Cuadro 1.1: Cronograma de trabajo

Organización del presente documento

El presente documento consta de las siguientes partes :

- Introducción: Presenta una visión general del proyecto, explicando y desarrollando el planteamiento del problema, los objetivos y la metodología a emplear.
- Marco teórico: Define los conceptos básicos del tema a tratar, así como los alcances del tema.

- Estado del arte: Describe la perspectiva actual del tema y los trabajos más recientes relacionados con el mismo.
- Propuesta de solución: Expone la propuesta de solución en la que se explica de forma detallada la solución del problema y los límites de la misma.
- Resultados: Muestra los resultados obtenidos.

2 Marco teórico

2.1. Redes IEEE 802.11

2.1.1. Introducción

Actualmente el uso de Internet se incrementa en lugares públicos como hospitales, escuelas, universidades, aeropuertos, cafés entre otros. En los lugares de acceso público, se encuentra como medio de acceso principal las redes inalámbricas. Sin duda la tecnología que ha cobrado mayor importancia en este tipo de redes es la tecnología Wi-Fi o el estándar IEEE 802.11[1], debido a la gran versatilidad que muestra al permitir a los usuarios mantenerse conectados y compartir gran cantidad de datos.

Wi-Fi permite la conexión de un gran número de dispositivos de diferentes tipos, como son computadoras, tablets, smartphones, impresoras, entre otros, que son empleados para diferentes tipos de aplicaciones. Asimismo en la actualidad la variedad de dispositivos que se pueden conectar a Wi-Fi se incrementa por las nuevas aplicaciones existentes que requieren la conexión de sensores y actuadores, entre otros dispositivos con capacidad de conexión, desarrollando nuevas aplicaciones en la industria, la domótica, etc. Este tipo de redes proponen compartir todos los recursos disponibles de los diferentes dispositivos.

Existen diferentes extensiones del estándar IEEE 802.11, pero básicamente las más empleadas son los estándares: 802.11 a, 802.11 b, 802.11 g y 802.11 n. Todos estos estándares emplean el mismo modo de acceso al medio el CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance o Acceso múltiple por detección de portadora) y diferentes características que mejoran las prestaciones del protocolo en diferentes aspectos.

2.1.2. Estándares 802.11.a/ 802.11.b / 802.11.g / 802.11.ac

Estos cuatro estándares de Wi-Fi, de acuerdo a lo siguiente:

2.1.3. 802.11.n

802.11.n es una modificación al estándar IEEE 802.11 realizada en 2007 con el objetivo de mejorar el rendimiento de la red más allá de los estándares anteriores 802.11b y 802.11g, con un incremento de la velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps a

Estándar	Rango de Frecuencia	Velocidad de datos
802.11.b	2.4- 2.485 GHz	11 Mbps
802.11.a	5-5.8 GHz	54 Mbps
802.11.g	2.4- 2.485 GHz	54 Mbps
802.11.ac	5-5.8 GHz	500 Mbps (Asumiendo canales de 80 MHz)

Cuadro 2.1: Estándares comunes de IEEE 802.11[Basado en [6] y [7]].

un máximo de 600 Mbps. En anteriores versiones la capa física soportaba una velocidad de 300 Mbps, con el uso de dos flujos en un canal de 40 MHz. Según el entorno y las condiciones, esto puede traducirse en un rendimiento percibido por el usuario de 100 Mbps, tiene un alcance de 300 metros, implementando MIMO (Multiple Input Multiple Output o Múltiples entradas y múltiples salidas) en su aplicación como medio de transmisión. MIMO es una tecnología que usa múltiples antenas transmisoras y receptoras para mejorar el desempeño del sistema, permitiendo manejar más información (manteniendo la coherencia) que al utilizar una sola antena. Dos características importantes que provee a 802.11n, son la diversidad de antenas y el multiplexado espacial.

La tecnología MIMO depende de señales multitrayecto que son señales reflejadas que llegan al receptor un tiempo después de que la señal de línea de vista (Line of sight, LOS) ha sido recibida. En una red no basada en MIMO, como 802.11a/b/g, las señales multitrayecto son percibidas como interferencia que degradan la habilidad del receptor de recobrar el mensaje en la señal. MIMO utiliza la diversidad de las señales multitrayecto para incrementar la habilidad de un receptor de recobrar los mensajes de la señal.

Otra propiedad que provee MIMO es el Multiplexado de División Espacial (Spatial division multiplexing, SDM), que multiplexa espacialmente múltiples flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente con un canal espectral de ancho de banda. SDM incrementa el desempeño de la transmisión conforme el número de flujos espaciales es incrementado. Debido a sus características este estándar se usa en arquitecturas centralizadas o distribuidas[14].

2.1.4. 802.11.ac

802.11ac es una propuesta de modificación al estándar IEEE 802.11.n. Posee características similares a su predecesor (802.11.n), que permiten el acceso a canales más anchos y un mayor flujo de datos, entre otras. Las características principales que permiten que se pueda alcanzar rangos de transmisión de Giga-bytes son: La unión de canales estáticos y dinámicos, el empleo de modulación 256 QAM (Modulación de amplitud en cuadratura, por sus siglas en inglés, Quadrature Amplitude Modulation), lo que significa altas tasas de transferencia de datos y finalmente el uso de MIMO. Para alcanzar estos objetivos es necesario realizar modificaciones en la capa

MAC. Se usan los mecanismos RTS/CTS (Request to send/ Clear to send), para reservas de ancho de banda de manera dinámica y estática y un ancho de banda de 80 MHz (160 MHz con canal contiguo)[7]. Esto permite que 802.11 ac, tenga una mayor velocidad de transmisión y permita tasas de transferencia de hasta 500 Mbps.

2.1.5. Otros estándares 802.11

Además de los estándares que anteriormente vistos, existen otros estándares que permiten mejoras que con el paso del tiempo se han desarrollado para nuevos requerimientos y aplicaciones como las que se muestran en los Tabla 2.2y Tabla 2.3:

La evolución de Wi-Fi ha traído consigo más estándares que buscan como mejorar la calidad de Servicio (QoS) en el desarrollo de actualizaciones al estándar como IEEE 802.11.e EDCA (Enhanced distributed channel access) que busca proporcionar un acceso mejorado al canal distribuido. Así como también IEEE 802.11.af que fue lanzado en 2013 para soportar Wi-Fi en la operación de televisión en espacios blancos (TVWS), proporcionando la disponibilidad de frecuencias libres entre canales de televisión para el empleo de Wi-Fi.

Existen varios y novedosos proyectos para implementar las capas PHY y MAC de IEEE 802.11 algunos de ellos son los siguientes:

2.1.5.1. IEEE 802.11 ah

Esta extensión del protocolo IEEE 802.11ah se enfoca en mejoras para la aplicación de nuevas tecnologías enfocadas en Internet of Things (IoT) que se centran en la capa PHY y MAC. Este estándar busca mejorar estas capas, implementando un canal dedicado de 1 GHz que permita ampliar el rango de transmisión con respecto a las tecnologías ya existentes, optimizar los enlaces y el consumo de energía, implementando OFDM en la capa física. La implementación de esta mejora toma en cuenta la reducción de ancho de banda implementada en 802.11.n y 802.11.ac. 802.11.ah podría soportar hasta 8191 dispositivos por AP implementando ventanas de operación y tráfico jerárquico [15].

2.1.5.2. IEEE 802.11 ax

Uno de los más relevantes es el IEEE 802.11ax, que aún es una actualización en progreso que se viene desarrollando desde 2014 y que busca específicamente desarrollar parámetros y estándares para HEWs (High Efficiency Wireless Networks o redes inalámbricas de alta eficiencia). A diferencia de los estándares similares de Wi-Fi que así como IEEE 802.11n/ac buscaron implementar mejoras en la capa de acceso al medio, IEEE 802.11ax busca implementar mejoras que puedan beneficiar al desarrollo de HEWs, proponiendo una serie de estándares que permitan alcanzar

el desafío que el despliegue que este tipo de red necesita, tomando en cuenta el gran número de usuarios, la densidad de despliegue de APs (Access Points o puntos de acceso) y las celdas sobrepuestas (OBSS, Overlapping Base Set Station) [2].

Luego de IEEE 802.11 a, IEEE 802.11g e IEEE 802.11 n, IEEE 802.11 ax representa la próxima generación en tecnología Wi-Fi, buscando como objetivo la mejora de la capa MAC, enfocándose en el desarrollo de mejoras para las redes densas de alta eficiencia (HEWs), considerando la eficiencia del espectro y un sistema de alto rendimiento por area en escenarios interiores y exteriores como espacios públicos, transporte público, entre otros. Este estándar espera mejorar el rendimiento en aproximadamente cuatro veces más que el actual, tomando en cuenta los antiguos estándares de IEEE 802.11 para que todos puedan ser compatibles con esta implementación. Propone mejoras en la capa PHY, empleando MU-MIMO (Multiple user- MIMO) y OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) como formas de mejora de la descarga y carga de mensajes, en la capa MAC aún se discuten diferentes y nuevas maneras de implementar este tipo de redes que se esperan que para marzo del 2019 ya sean un estándar oficial [15]y [7].

2.1.5.3. IEEE 802.11 ay

Considerado como una extensión de IEEE 802.11 ad, que busca desarrollar el máximo rendimiento en la capa MAC, empleando MU-MIMO y SU-MIMO (Single User MIMO) que son propuestos para mejorar el rendimiento y permitir la capacidad de acceso a APs no personales. Basándose en MIMO, se desea emplear potencialmente reciprocidad en los patrones de radiación en las antenas, para permitir que varios dispositivos radíen en forma simultánea. Se espera completar este estándar para diciembre de 2019 [15].

2.1.6. Arquitectura de 802.11

Entre los principales componentes de la arquitectura de una red 802.11, tenemos a los Base Service Station (BSS) que son estaciones que pueden contener uno o más APs, como podemos observar en Figura 2.1, donde se demuestra cómo en una estación base (BSS) podemos tener un grupo de dispositivos conectados a un AP.

Normalmente en la arquitectura de IEEE 802.11 para WLANs (Wireless Local Area Networks) se distinguen dos tipos de arquitectura, una llamada Infraestructura, en la cuál se presenta un grupo de APs conectadas a un equipo cableado, en este caso un Router o Switch, el cuál controla todos los accesos al medio de los nodos conectados a la red y a su vez a Internet. En el otro caso poseemos una red Ad-Hoc que no necesariamente tiene un controlador central y puede que esté o no conectado con una conexión exterior. Esta red Ad-Hoc se forma de manera espontánea y puede estar conformada por diferentes tipos de dispositivos, como se muestra en Figura 2.2. Este

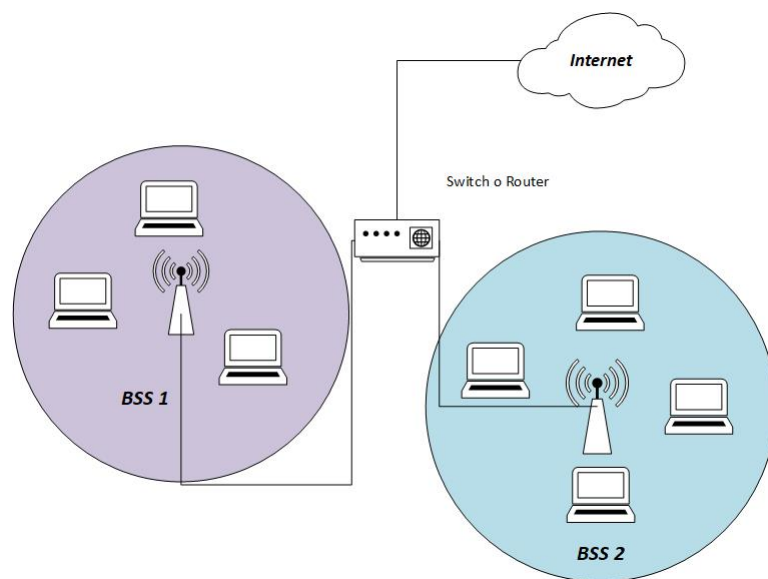


Figura 2.1: Esquema de una BSS [1].

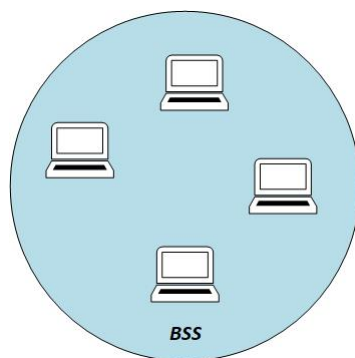


Figura 2.2: Modelo de Red Ad-Hoc [1].

tipo de arquitectura es conocido también como IBSS (Independent Base Set Station) o estación base independiente.

La principal diferencia existente en el funcionamiento de las redes de Infraestructura y las redes de forma Ad-Hoc, es que las redes Ad-Hoc son una conexión de forma espontánea que se puede producir entre dos o más dispositivos y que no en todos los casos requiere de la conexión a Internet [8]. Las redes WLAN IEEE 802.11 tienen dos modos de operación Función de coordinación de punto (Point Coordination Function PCF) y Función de coordinación distribuida (Distributed Coordination Function DCF), que se encuentran en la capa de control de acceso al medio del protocolo IEEE 802.11.

2.1.7. Control de acceso al medio en 802.11

2.1.7.1. Función de Coordinación Distribuida (DCF)

La Función de Coordinación Distribuida es una técnica de control de acceso al medio en 802.11 para redes de área local. En esta función se emplea el método de CS-MA/CA con un algoritmo binario exponencial de *Backoff*. DCF utiliza un algoritmo que consiste en que la estación que desea transmitir (A), debe escuchar el canal un determinado tiempo denotado como DIFS (Distributed Inter-Frame Space) para verificar que el canal esté libre. Si el canal está libre durante el periodo de tiempo DIFS, la estación (A) procede a enviar una solicitud para transmisión o RTS (Request To Send), a la estación de destino (B) que recibe la RTS y espera durante un intervalo de tiempo llamado SIFS (Short Inter-Frame Spacing); si el canal está libre, procede a responder con un CTS (Clear To Send) o con un RxBusy (Receptor ocupado) si está recibiendo datos de otra estación oculta (C) para la estación (A). Una vez que la estación (A) recibe al CTS, también debe esperar el tiempo SIFS antes de proceder a transmitir los datos hacia la estación (B). Es así que la estación (B), una vez que recibe los datos vuelve a esperar el intervalo de tiempo SIFS hasta poder transmitir la trama que indica que el mensaje ha sido recibido (ACK) o el mensaje de no haber recibido nada (NAK) hacia la estación (A)[1].

2.1.7.2. Función de Coordinación de Punto (PCF)

Es la técnica de acceso al medio más empleada, que consiste en que existe un AP coordinador de la red. El AP espera a que la duración PIFS (PCF Inter-Frame Space) en lugar de la duración DIFS para captar el canal. PIFS es menor que la duración DIFS y por lo tanto el coordinador punto siempre tiene la prioridad para acceder al canal. El PCF está situado directamente encima de la función de coordinación distribuida (DCF), es decir que se encuentra como modo de operación prioritario en la capa MAC IEEE 802.11. El acceso al canal en el modo PCF está centralizado y previamente coordinado por el AP, es así que el AP coordinador envía una trama CF-Poll, que es una trama de sondeo que invita a la cada una de las estaciones para que sea capaz en modo PCF de transmitir una trama, según lo requiera. En caso de que la estación a la que se envía la trama no tiene nada que enviar, entonces debe transmitir una trama nula para dar paso a la siguiente estación y que esta pueda transmitir si así lo desea y así sucesivamente con todas las estaciones de la red. Esta funciona como un método de sondeo, para coordinar el tráfico de la red. Debido a la prioridad de PCF sobre DCF, las estaciones que sólo utilizan DCF podrían no tener acceso al medio. Para evitar esto, un intervalo de repetición ha sido diseñado para cubrir tanto contención libre (tráfico DCF) y PCF (basado en contienda). El intervalo de repetición que se repite continuamente, comienza con una trama de control especial que se llama Beacon Frame. Cuando las estaciones escuchan la Beacon Frame, inician su vector de asignación de red para la duración del período libre de contención del periodo de repetición [16].

2.1.8. Trama de IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 define tres tipos de tramas: datos, control y administración. El formato de trama que se emplea en IEEE 802.11, se emplea en muchos de los procesos de la Subcapa de acceso al medio.

La estructura de esta trama se muestra a continuación en la Figura 2.3 y la definición de cada uno de los campos y subcampos se muestra en la Tabla 2.4.

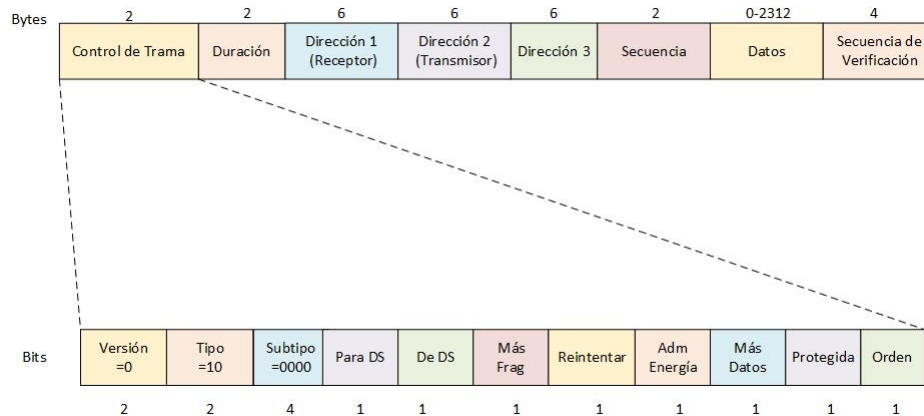


Figura 2.3: Trama de IEEE 802.11.

2.2. Servicio de WLAN de uso público

Las redes WLAN de uso público son empleadas en espacios públicos con un gran número de usuarios. Estas redes son empleadas en lugares como escuelas, universidades, aeropuertos, cafés, centros comerciales, parques y plazas, entre otros. El objetivo principal del desarrollo e implementación de estas redes es buscar de alguna forma compartir y brindar servicio de conexión a la red de manera sencilla y en muchos casos gratuita, permitiendo al usuario conectarse a Internet en este tipo de espacios, para intercambiar información o acceder a la red, empleando diferentes tipos de dispositivos que pueden pertenecer al entorno de las redes públicas en las que son empleados o también pueden ser empleados dispositivos propios de los usuarios, usando el concepto BYOD(Bringing your own device) para acceder a servicios propios de la red, como se describe en [17]. Si bien estos servicios son de forma gratuita, existen algunos casos en los cuales las empresas de telecomunicaciones brindan este servicio de conexión denominado '*Hotspot*' a usuarios que por su movilidad, requieran una conexión a Internet en este tipo de entornos.

Según [18], el requerimiento de tráfico de datos móviles en una red interior es 80 % o mayor al que se produce en una red exterior, es por esto que es muy importante

el desarrollo las redes interiores de uso público para cubrir estas necesidades de los usuarios.

Los *Hotspots*, son puntos libres de acceso que permiten al usuario ingresar a la red y que en un futuro serán muy útiles para aplicaciones como SmartCities y todos los conceptos intermedios que el desarrollo de estas nuevas tecnologías involucran, ya que al tener puntos de acceso libres podremos permitir al usuario tener una mayor interacción con el entorno y con aplicaciones y servicios que se desarrollan en ese entorno. Por otro lado, si bien es cierto estas redes permiten muchas ventajas y beneficios también presentan un número de problemas debido a la densidad del número de usuarios y la cantidad de tráfico necesaria para el soporte de estas redes, es por eso que en muchos casos no se provee de un servicio adecuado, ni tampoco de un acceso a todos los usuarios por igual. Los Hotspots también permiten de alguna manera disminuir el tráfico de las redes móviles convencionales, en áreas donde la densidad de población es muy grande[19].

2.2.1. Problemas comunmente presentados en las redes públicas IEEE 802.11

■ Conexión y desconexión de usuarios

En las redes IEEE 802.11 los usuarios tienen la capacidad de asociación y desasociación de la red, es por eso que en ciertos casos se produce una conexión y desconexión constante de usuarios que permite que en ciertos casos los usuarios o dispositivos detectados en la red dupliquen su dirección IP y se genere una mayor cantidad de tráfico en la red.

■ Solapamiento de celdas en la red

Al desplegar un grupo de puntos AP en una red IEEE 802.11 en ciertos casos sucede que el área de cobertura correspondiente a una AP, se sobreponga con una AP vecina a otras, lo que genera que si estas no se encuentran en una correcta distribución, se produzca un problema al emplear la capacidad de ancho de banda determinado para cada AP.

■ Falta de seguridad

En las redes públicas la falta de seguridad es un problema evidente, pues aunque existen mecanismos de cifrado o de autenticación, el nivel de seguridad no es tan alto, por lo que este siempre será un problema recurrente en las redes públicas. La vulnerabilidad en comparación con las redes que están conectadas de manera alámbrica, Wi-Fi emplea encriptación para los mensajes, pero esto no es suficiente para lograr un alto nivel de protección.

2.2.2. Redes inalámbricas locales de alta eficiencia (High Efficiency Wireless Networks HEWs)

Las redes inalámbricas locales Wi-Fi de alta eficiencia basadas en el estándar 802.11 ax, además de las características anteriormente planteadas, tienen nuevos requerimientos como lo son soportar nuevas y más actualizadas aplicaciones de distribución multimedia, localización, acceso a la nube entre otros requerimientos, que necesitan de mayor calidad de servicio (Quality of Service QoS). Todas estas aplicaciones deben ser alcanzadas sin dejar de ser compatibles con las anteriores versiones del protocolo IEEE 802.11, esto representa un gran desafío para el despliegue de estos estándares para brindar a más usuarios un flujo de datos estándar y confiable en presencia de muchos otros usuarios. El difícil objetivo que pretende alcanzar este tipo de redes es de incrementar el rendimiento promedio de usuario de al menos cuatro veces en entornos con alta densidad. Uno de los mayores facilitadores de esta eficiencia es la tecnología de múltiples usuarios, tanto en forma de MU-MIMO y MU-OFDMA (Multiple user OFDMA) [2][20].

Los escenarios de redes Wi-Fi de alta eficiencia presentan elementos similares a los que normalmente presenta una red Wi-Fi. Los principales elementos que presenta una red inalámbrica de alta eficiencia son:

- APs: Access Points, puntos de conexión.
- STAs: Estaciones, dispositivos o nodos.
- BSS: Basic Service Sets, celdas.
- OBSS: Overlapping Basic Service Sets , celdas sobrelapadas una encima de la otra.
- BSA: Basic Service Sets Area, área de cobertura de la celda.
- ESS: Extended Service Set, grupo de celdas extendidas.

Todos estos elementos interactúan en la red y podemos observar su comportamiento en la ilustración de la Figura 2.4.

2.3. Redes inalámbricas móviles

Se emplea el concepto de *Red Móvil*, cuando el usuario o el dispositivo puede mantenerse conectado en el área de cobertura de la red, transmitiendo datos en la red. Este concepto es normalmente empleado en las redes de comunicaciones móviles, pero a su vez esta comenzando a ser empleado en las redes inalámbricas modernas, ya que en diferentes conceptos se busca que las redes proporcionen a los usuarios movilidad mientras estos se conectan, así como sucede en las redes inalámbricas WLAN, que en ciertos casos ofrecen movilidad a los usuarios que están conectados a la red, así como es el caso de las redes MANET, VANET y las redes D2D, conceptos que se desarrollan a continuación.

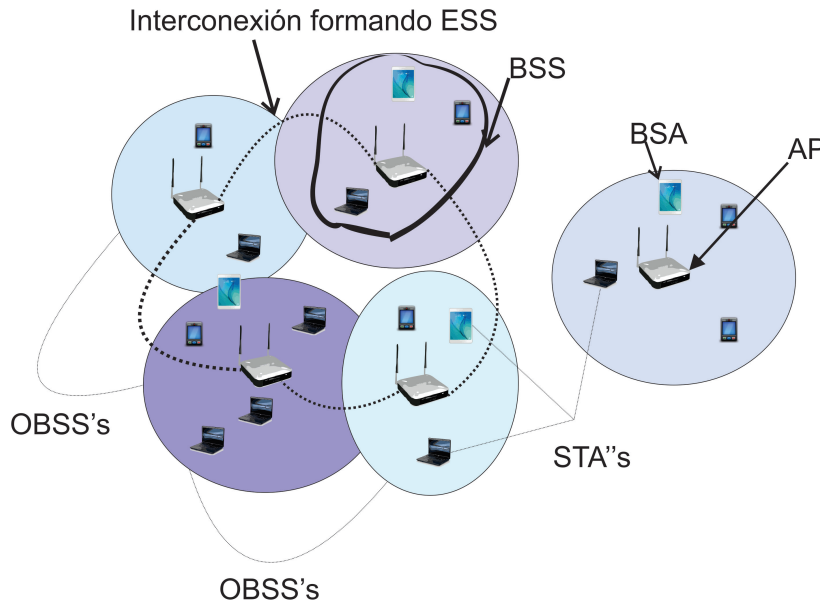


Figura 2.4: Elementos que conforman una red de alta eficiencia. [Basado en [2]]

2.3.1. Redes ad-hoc móviles o redes MANET

Este tipo de redes pueden cambiar de ubicación y configurarse por sí mismas en la marcha, logrando que los diferentes dispositivos mantengan una conexión constante a cada momento, ya sea mediante una red inalámbrica o mediante otro tipo de red. Las redes MANET son restringidas para una red de área local, esto quiere decir que los dispositivos solamente tendrán conexión cuando se encuentren en el área de cobertura de la red. El objetivo principal de este tipo de redes es el de tener una conexión sin necesitar de una infraestructura predefinida para implementar las funciones de la red y que no exista ningún tipo de autoridad o jerarquía para la administración y control de la red. Estas redes simplemente soportan el protocolo TCP/IP como base del enrutamiento del paquete.

[21].

2.3.2. Redes ad-hoc móviles vehiculares o redes VANET

Las redes móviles vehiculares, permiten la transmisión y recepción de datos de forma que se pueda realizar un movimiento entre los diferentes dispositivos y usuarios. Es así que permiten la comunicación en la red, entre los diferentes dispositivos y la inclusión de la interacción de los vehículos y las especificaciones de la carretera con la red. Este tipo de redes esperan ser empleadas en formas inteligentes de transporte,

para reducir el número de accidentes de tránsito y la congestión en las carreteras [21].

2.3.3. Redes dispositivo a dispositivo (Device to Device D2D)

Las redes Device to Device permiten a dos dispositivos conectarse entre sí para intercambiar información entre ellos sin pasar por la estación base o conectarse a la red. Este tipo de intercambio se realiza entre redes inalámbricas móviles. En consecuencia el sistema de intercambio es más rápido y eficaz, pero si embargo también presentan algunos inconvenientes en lo que respecta a la interferencia existente en el modelo de transmisión [22].

Estándar	Fecha de aprobación de proyecto	Fecha de aprobación final	Característica Principal
802.11.a	1997-09-16	1999-09-16	Alta velocidad en PHY, extension de la banda de 5 GHz.
802.11.aa	2007	2012	Mejoras en la capa MAC para Streaming de audio y vídeo.
802.11.ac	2011	2014	Priorización de los frames o tramas de administración.
802.11.ad	2009-05	2014	Mejoras para muy alto rendimiento en la banda de 60 GHz.
802.11.af	2009	2013	Televisión para los espacios blancos o libres (TVWS, TV White Spaces, espacios blancos de la TV).
802.11.b	1997-12-09	1999-09-16	Alta velocidad en PHY, extension de la banda de 2.4 GHz.
802.11.c	1997-12-09	2007-03-08	Puentes para control de acceso al medio MAC, suplementarios para el desarrollo de IEEE 802.11.
802.11.d	1999-06-26	2001-06-14	Operación en dominios de regulación adicionales.
802.11.e	2000-03-30	2005-09-22	Mejoras en la MAC.
802.11.f	2000-03-30	2003-06-22	Interacceso en un punto de protocolo a traves del soporte de sistemas distribuidos en IEEE 802.11.
802.11.g	2000-09-21	2003-06-12	Mayor y más larga extensión de datos en la banda de 2.4 GHz.
802.11.h	2000-12-07	2003-09-11	Extensiones de espectro y transmisión de energía en la banda de 5GHz en Europa.
802.11.i	2001-05-30	2004-06-24	Mejoras en la seguridad de la MAC.

Cuadro 2.2: Otros estándares de IEEE 802.11[Basado en [2]y [6]].

Estándar	Fecha de aprobación del proyecto	Fecha de aprobación final	Característica Principal
802.11.j	2002-12-11	2004-09-23	Banda de operación de 4.9 GHz y 5GHz en Japón.
802.11.k	2002-12-11	2008-03-31	Mejoras para un mayor rendimiento.
802.11.ma	2003-03-20	2007-03-08	Mantenimiento y revisión del estándar 802.11.
802.11.n	2007-11	2009-09-11	Mejoras en el rendimiento de la red MIMO.
802.11.p	2004 -04	2010-07-15	Acceso inalámbrico en vehículos (WAVE).
802.11.r	2004-05-13	2008-06-30	Roaming más rápido.
802.11.s	2004-07	2012	Redes mesh o de malla.
802.11.t	2004-08-12	2009-12-31	Práctica recomendada para la evaluación de la performance de la red 802.11.
802.11.u	2007-11	2011-02-25	Interfuncionamiento con redes externas.
802.11.v	2007-11	2011-02-01	Administración de redes inalámbricas 802.11.
802.11.w	2005-03-20	2009-09-30	Tramas de administración protegidas.
802.11 y	2006-03-16	2008-06-30	3650-3700 MHz de Operación en USA.

Cuadro 2.3: Otros estándares de IEEE 802.11. [Basado en [2] y [6]]

Campo	Sub-campo	Descripción
Control de trama	Versión = 0	Versión del protocolo a emplear.
	Tipo=10	Tipo de trama a enviar (Datos, control o administración).
	Subtipo =0000	Subtipo de trama a enviar (RTS, CTS, etc).
	Para DS	Indica las tramas enviadas a DS o destino.
	De DS	Indica las tramas provenientes del DS.
	Más Frag	Indica las tramas de datos o de gestión que contienen fragmentos de MSDU (MAC Service Data Unit).
	Reintentar	Este campo sirve para eliminar las tramas duplicadas. Indica la retransmisión de un bit.
	Adm. Energía	Indica el modo de energía en el que se encuentra el dispositivo después de terminar la secuencia de envío de tramas.
	Más datos	Este campo indica que hay otras unidades que están para ser enviadas a la estación receptora.
	Protegida	Este subcampo contiene información que está codificada mediante algoritmo.
	Orden	Es el orden en el que estación receptora procesa los datos.
Duración		Indica el tiempo en el que el canal estará ocupado hasta que llegué una transmisión y su confirmación de recepción.
Dirección 1, dirección 2, dirección 3.		Se emplean para determinar las direcciones MAC, de recepción, transmisión y el SSID o la identificación.
Secuencia		Indica el número de secuencia y el número de fragmento de cada MSDU.
Datos		Contiene información específica de la trama.
Secuencia de verificación		Campo que contiene el CRC (Cyclyce Redunancy check), que es calculado sobre todos los campos de trama y su llegada.

Cuadro 2.4: Definición de los campos y subcampos de la trama IEEE 802.11 [1, 8].

3 Estado del arte

3.1. Aspectos de conexión inalámbrica en un entorno de redes inalámbricas interiores

Para el desarrollo de redes inalámbricas en general se emplea una división de espacios en general, interior y exterior. Un entorno interior, nos permite el desarrollo de redes PAN (Personal Area Networks) y LAN (Local Area Networks)[23]. De acuerdo a estudios recientes de las recientes compañías Huawei y Nokia-Siemens, el 60 % del tráfico de redes de alta velocidad provienen de ambientes interiores [19]. Además los nuevos dispositivos requieren gran cantidad de tráfico de datos y gran capacidad de conexión entre ellos.

Como solución de este problema se ha planteado el desarrollo de redes con pequeñas celdas de cobertura Wi-Fi [19]. Es la tecnología que más se emplea para proveer servicios de red en diferentes instituciones y organizaciones como empresas, universidades, etc. Muchos puntos de acceso Wi-Fi (Wi-Fi Hotspots) han sido instalados y desplegados en diferentes espacios públicos, como municipalidades para el desarrollo de nuevas aplicaciones.

También existen diferentes tecnologías que se emplean para el uso de conexiones interiores en un entorno diferente, donde varias tecnologías de redes inalámbricas son requeridas, como en la industria, la medicina, entre otras, donde redes de sensores o actuadores que emplean protocolos como ZigBee IEEE 802.15.4 y Bluetooth Low Energy (BLE), entre otras, que presentamos en el esquema a continuación [3]:

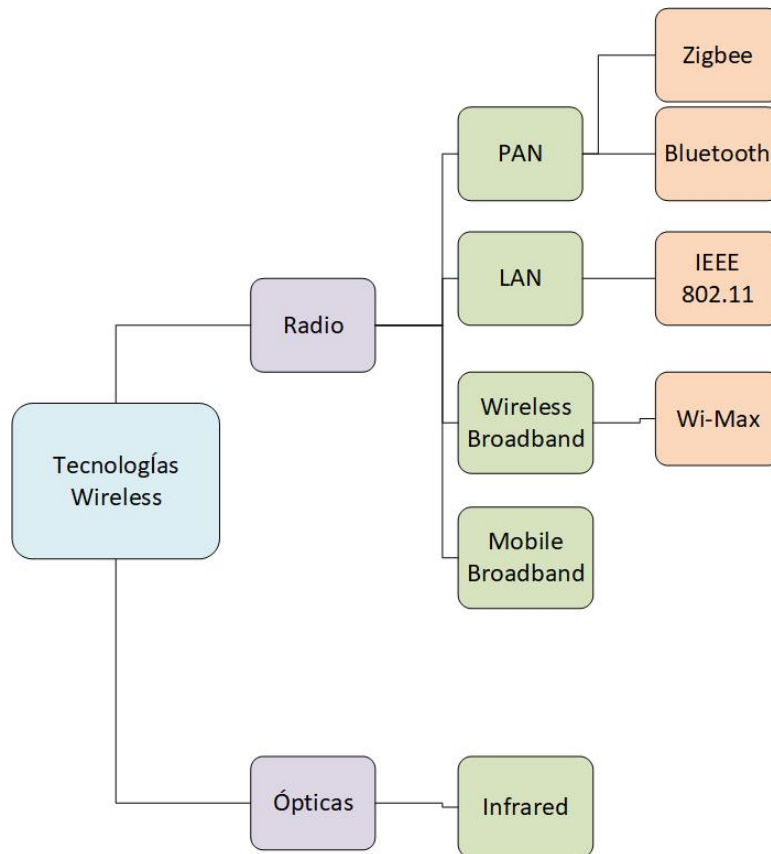


Figure 3.1: Tecnologías de comunicaciones inalámbricas [3].

3.1.1. Otras tecnologías inalámbricas para conexiones heterogéneas

3.1.1.1. ZigBee

Es un protocolo que fue desarrollado por un grupo de compañías que se denomina ZigBee Alliance, que provee confiabilidad, bajo costo y baja potencia para la comunicación de redes de sensores (WSN) Wireless Network Sensors con el fin de crear redes PAN, para monitoreo de datos con tasa de transmisión baja. Este protocolo emplea el estándar IEEE 802.14.5 [3].

ZigBee soporta diferentes topologías de red como mesh, estrella y árbol. ZigBee posee tres tipos de dispositivos; ZigBee Coordinator (ZC), ZigBee Router (ZR) y ZigBee End Device (ZED). Este tipo de red se emplea en aplicaciones que requieren poca transmisión de datos y un gran ahorro de energía, como lo son algunas aplicaciones en domótica o redes de sensores de bajo consumo (donde se requiere larga duración de batería para transmisión de datos). Este protocolo tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbits con un máximo de 255 nodos en una subred

[9].

3.1.1.2. Bluetooth Low-Energy (BLE)

Este estándar definido como IEEE 802.15.1, provee conectividad en redes inalámbricas de corto alcance para conectar dispositivos de manera inalámbrica, en forma de una estructura maestro-esclavo y en una topología punto a punto, llamada *piconet*. Una *piconet* se caracteriza por la topología maestro-esclavo, donde puede existir uno o más esclavos sincronizados con el maestro, para organizar la transmisión de datos. Los esclavos solamente se comunican punto a punto, mientras que los maestros pueden comunicarse de punto a multipunto, generalmente con la capacidad de formar redes de siete esclavos como máximo. La unión de varias *piconet*, se denomina *scatternet*, esto sucede cuando los dispositivos de diferentes *piconets* se comunican entre sí. BLE provee conexiones de baja energía y bajo ancho de banda, empleadas en aplicaciones usadas generalmente en PAN, como lo son los dispositivos *wearables*, que se emplean para monitorear la salud, el ejercicio, la seguridad, etc [3],[9].

3.2. Wi-Fi IEEE 802.11

Provee conexión inalámbrica de alta velocidad en dispositivos que operan en redes de área local (LAN). Este estándar provee especificaciones técnicas para las frecuencias de operación de 2.4, 5 y 60 GHz y de las capas MAC y PHY. Este estándar ha ido evolucionando con el paso del tiempo, las últimas versiones de este estándar son 802.11.a/b/g/n/ac, que son las más empleadas.

Este estándar es el más común en redes WLAN en el mundo. Los dispositivos Wi-Fi deben tener la capacidad de conectarse, ya sea mediante APs, en modo ad-hoc es decir permiten la interconexión de dispositivos Wi-Fi otros usuarios que permitan la conexión de dispositivos Wi-Fi, (forma de conexión es llamada Point Coordination Function PCF). En el modo PCF se realiza la conexión de los dispositivos a un router controlado por PCF y se procede al control de transferencia de datos, mientras que en el modo Ad-Hoc se procede a la transferencia de datos entre dos dispositivos. En ambos modos es necesario establecer conexión antes de realizar el intercambio de información [6].

Realizando una comparación entre los tres tipos de redes, obtenemos lo siguiente:

3.3. Perspectivas del desarrollo de Wi-Fi de nueva generación

Según [2], hay nuevas perspectivas acerca del desarrollo de Wi-Fi de nueva generación para lograr el objetivo de desplegar redes de alta eficiencia HEW, han propuesto estrategias de implementación en la capa PHY y la capa MAC del protocolo.

ESTÁNDAR	ZIGBEE	BLE	WI-FI
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11 b/g/n/ ac
Frecuencia	868/915MHz /2.4GHz	2.4GHz	2.4 GHz / 5GHz
Topología	Estrella,mesh, árbol cluster	Estrella, punto a punto, piconet, scatternet	Estrella, punto a punto, BSS, ESS
Velocidad (Mbps)	0.02-0.25	1	11/54/500
Tamaño de la red	65536	No definido	32
Recursos del sistema	4Kb-32KbX	-	1MB+
Canales	1/10/16	40	11-13(3 Ortogonales)
Seguridad	128-AES	128-AES	SSID

Table 3.1: Tabla de comparación de tecnologías inalámbricas [3],[9, 7].

3.3.1. Técnicas de la capa física PHY

Para lograr la implementación de redes de alta eficiencia, debemos tener en cuenta que el desarrollo actual de la capa física del protocolo IEEE 802.11 es específicamente empleado en redes interiores y no permite una buena eficiencia en ambientes exteriores con alta interferencia de canales y propagación por trayectos múltiples, por lo que se proponen estrategias de desarrollo de Wi-Fi que involucran técnicas como OFDMA, MU-MIMO e IBFD (Inter-band full dúplex). Esta modificación de la capa física del protocolo IEEE 802.11, se desarrollan en la extensión IEEE 802.11.ax.

OFDMA

La capa actual PHY se basa en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), que es una modulación multi portadora, en la cual los bits enviados se encuentran espaciados en frecuencia y son ortogonales uno del otro. A pesar de las ventajas de OFDM, incluyendo la eficiencia de la implementación de la transformada rápida de Fourier (FFT) y que es empleado en los estándares IEEE 802.11 n/ac para las comunicaciones, esto no es suficiente para alcanzar una alta eficiencia. Entonces, se propone el uso de OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple- Access) que establece la ubicación de diferentes subsets de subportadoras pertenecientes a diferentes dispositivos, logrando una transmisión simultánea de un AP a diferentes usuarios. Esto podría lograr una mejora en la eficiencia en una BSS para aplicaciones exteriores. Es decir que si, en un ancho de banda total de 80 MHz empleando OFDM, se podrá aprovechar la mitad, 40 MHz, mientras que, si empleamos OFDMA, se podría aprovechar el total de la capacidad [2]. Esta técnica de capa física busca emplearse en la extensión IEEE 802.11.ax [7]. La comparación del funcionamiento de estos dos tipos de tecnologías se muestra en la Fig. 3.2.

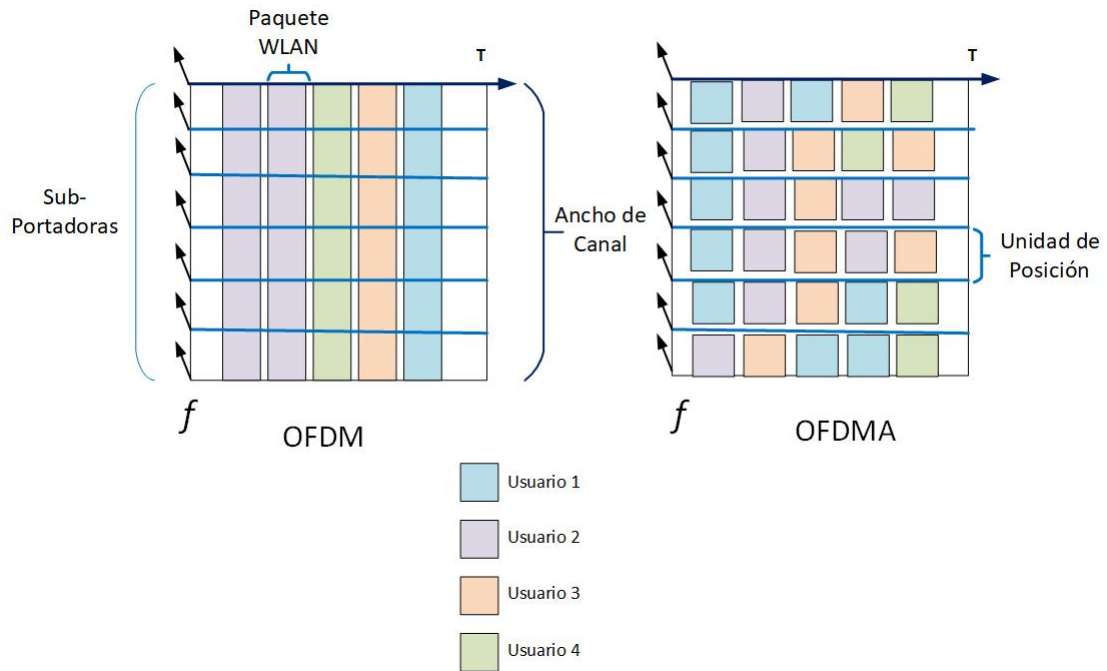


Figure 3.2: Comparación entre OFDM y OFDMA [2].

MU-MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) es una tecnología que permite incrementar la capacidad de los enlaces inalámbricos mediante múltiples antenas que pueden transmitir y recibir en simultáneo. La principal desventaja de este escenario es el costo de los sistemas que son más complejos en el procesamiento de señales y el estado del canal, en el transmisor o receptor. En el sistema MIMO empleado normalmente tenemos que un SU-MIMO (Single User MIMO) presenta un solo sistema de transmisión con múltiples receptores y transmisores. En el caso de MU-MIMO (Multiple User MIMO) tenemos que las antenas disponibles para transmisión y recepción se encuentran en diferentes transmisores y receptores, lo que es beneficioso en el caso que exista un gran número de dispositivos conectados a la red. MU-MIMO también divide sus canales en canales de transmisión Broadcast (MIMO-BC) y canales de múltiple acceso (MIMO-MAC) [2]. Podemos observar el funcionamiento de MU-MIMO en la Fig. 3.3 dónde se puede apreciar cómo un dispositivo es capaz de enviar en varios canales a la vez.

Comunicaciones IBFD

Inter Band Full Duplex (IBFD) es una tecnología que permite a un dispositivo transmitir y recibir simultáneamente señales en la misma frecuencia, con la posibilidad

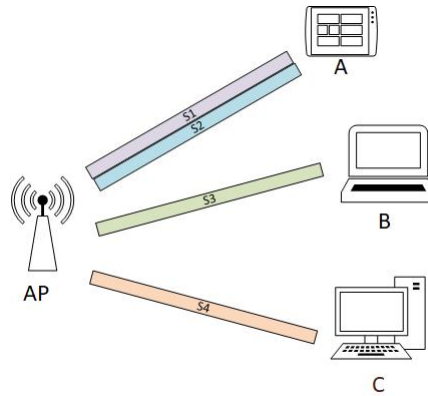


Figure 3.3: Funcionamiento de un canal MU-MIMO.

de teóricamente duplicar la eficiencia espectral de un sistema de comunicaciones, sin necesidad de duplicar el ancho de banda del canal empleado [4]. El principal reto de esta tecnología es encontrar un mecanismo de cancelación de ruido que permita eliminar la interferencia que genera el mismo dispositivo al realizar la transmisión y recepción de datos simultánea. Los dispositivos con este tipo de comunicaciones solo emplean una antena en el proceso, mientras que los diseños existentes de comunicación IBFD usan antenas omnidireccionales. También se espera en el futuro incluir antenas direccionales, como se presenta en [2], que sean capaces de ser empleadas en dispositivos de uso convencional para lograr la mejora de este tipo de comunicaciones. Existen dos posibilidades de modelos de transmisión, como se demuestran en la Fig. 3.4, dependiendo si el AP o el usuario tienen acceso al canal primero:

- Uplink (UL) o carga, UL-Modelo primario, en el cuál el usuario accede al canal y construye una transmisión de UL y luego otro usuario es autorizado para realizar la descarga o Downlink (DL) empleando el mismo canal simultáneamente.

- El segundo modelo de transmisión es el de DL- Modelo primario, donde el AP tiene el acceso prioritario y construye un canal de transmisión donde se prioriza la descarga y luego un usuario empieza a usar el canal de Uplink o carga. Este modelo se trata en [4] y funciona como se presenta en la Fig. 3.4.

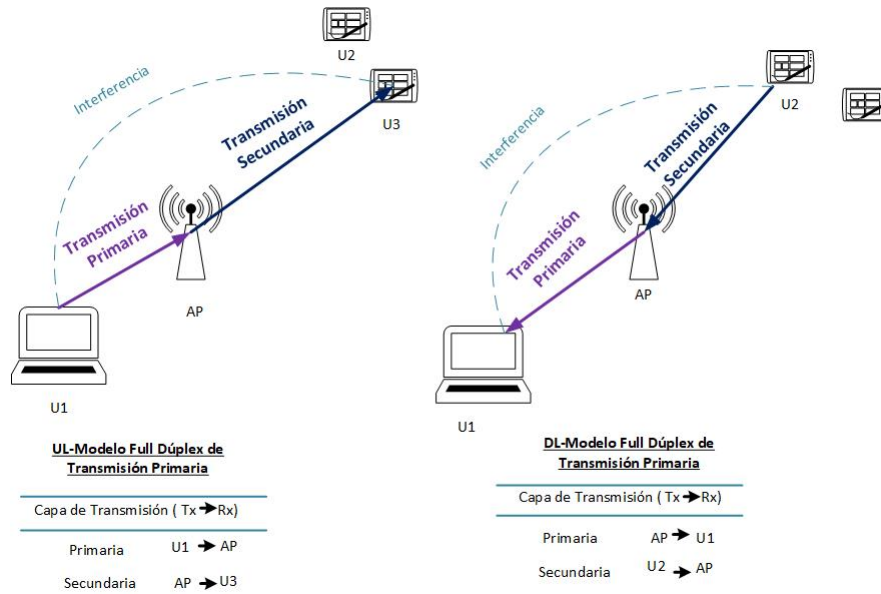


Figure 3.4: Modelos de transmisión de IBFD [4].

3.3.2. Técnicas de acceso al medio (MAC)

En muchos de los casos en los que las redes de alta eficiencia son desplegadas en lugares como estadios, aeropuertos, salas de conciertos, etc. Se debe considerar un amplio número de usuarios que se encuentren muy cerca el uno del otro, dando como resultado la formación de una BSS de gran densidad. Esto logra que se reduzca la performance de la red en un escenario de HEW también es por esto es crucial desarrollar un esquema MAC que sea más eficiente y evite las colisiones entre los diferentes STAs, permitiendo la transmisión simultánea en la misma BSS. Teniendo en cuenta esta premisa, las estrategias propuestas para el desarrollo de la capa MAC son: Mejoras en la capa MAC, Multiuser MAC y IBFD- MAC.

3.3.2.1. Mejoras en IEEE 802.11 MAC

DCF Background

DCF es un procedimiento básico de IEEE 802.11 MAC que provee servicios a los otros métodos de acceso de IEEE 802.11, como son la Función de coordinación híbrida (Hybrid Coordination Function, HCF) y la función de coordinación de malla (Mesh Coordination Function, MCF). Estos servicios funcionan empleando DCF, que evita la colisión, brindándole información a los STAs de la disponibilidad del canal para la transmisión de datos y estos tienen que esperar a que el canal se encuentre libre para realizar su transmisión. En el tiempo en el que se produce

una mayor probabilidad de que ocurra una colisión es cuando varios STAs esperan para transmitir al mismo tiempo. Para disponer del canal se emplea un tiempo de *Back-off*, calculado como un número determinado de Slots, este tiempo depende de la ventana de contención. La estrategia planteada es de ampliar la ventana de contención para así reducir la probabilidad de que existan dos tiempos de *Back-off* iguales en la red y se reduzcan las colisiones de esta forma, ya que cada usuario escoge un tiempo de *Back-off* aleatorio para realizar la transmisión de datos. Esto se analiza en [24, 2], donde mediante la selección de cadenas de Markov se realiza la transmisión aleatoria de paquetes esperando el estado *Idle*, de transmisión en cada STA, como se muestra en la Fig. 3.5.

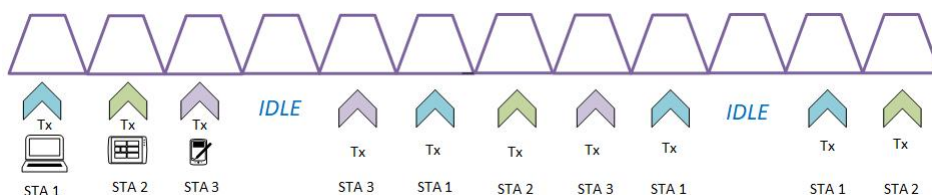


Figure 3.5: Distribución del funcionamiento del DCF Background.

Esquema de *Back-off* mejorado

Los fundamentos básicos del proceso DCF de *Back-off*, según lo observado en los estándares con confiabilidad a corto tiempo, presentan que al final de una transmisión exitosa se vuelve a la ventana de contención inicial, lo que produce una falta de equidad. Para las aplicaciones de audio y video en tiempo real que se proponen en los esquemas de HEWs, es crucial intentar reducir el *jitter* del canal (la desviación no deseada de la periodicidad verdadera de la señal del canal asumida como periódica) y así lograr transmisiones más fluidas y con un menor tiempo de espera. Pero a diferencia de la propuesta discutida anteriormente, en esta nos centraremos en un esquema de *Back-off* polinómico, que en lugar de doblar el ancho de la ventana, irá creciendo de forma polinómica con la ecuación: $W * (1 + i)^x$, donde W es el tamaño de la ventana de contención inicial, i es un número entero que se incrementa (de 0 al máximo valor) después de la detección de una colisión y x es un número positivo que determina el radio de crecimiento del tamaño de la ventana de contención. Este sistema permite reducir el *jitter* de acceso al canal, lo que mejoraría el audio y vídeo [2].

Handshaking eficiente y mecanismo de agregación de tramas

Empleando CSMA/CA, si dos STAs están físicamente separadas a tal punto de no poder saber si una de ellas está transmitiendo o no, las transmisiones pueden colisionar en otra STA que se encuentre en medio de estas dos. Este problema es

conocido como el problema del nodo o terminal oculto. Para lidiar con este problema IEEE 802.11 emplea el mecanismo de RTS/CTS. A pesar de esto, el mecanismo RTS/CTS produce el problema del nodo expuesto, que puede prevenir que una STA circundante de acceso al canal no interrumpa la transmisión saliente, debido a que se encuentra en modo de recepción. Para reducir este problema en las HEWs, basándose en la adaptación del rango de transmisión de las tramas de RTS y CTS, modificando la condición basada en la que cada STA difiere su transmisión, recibiendo un RTS pero no respondiendo con un CTS, decidiendo si responde o no a esta solicitud, según la disponibilidad de cada STA, aprobando o rechazando la recepción y transmisión, según se encuentre libre. Otra forma de solución a este problema es empleando un mecanismo que permita al AP controlar la transmisión de las estaciones en la BSS. Además, en la extensión 802.11.n, en vez de enviar tramas RTS/CTS para cada data frame, la técnica empleada es la de enviar una trama más larga, que no solo decremeta el uso de las tramas RTS/CTS, si no que disminuye las cabeceras asociadas a la capa PHY [2]. En otros casos se proponen mecanismos como los que presentan [?], donde se propone un esquema de agregación de tramas como el que se muestra en la Fig. 3.6 denominado A-MSDU (donde se agregan las tramas todas juntas en un mismo paquete de transmisión y todos los paquetes son direccionados a un mismo destino y luego repartidos por el AP).

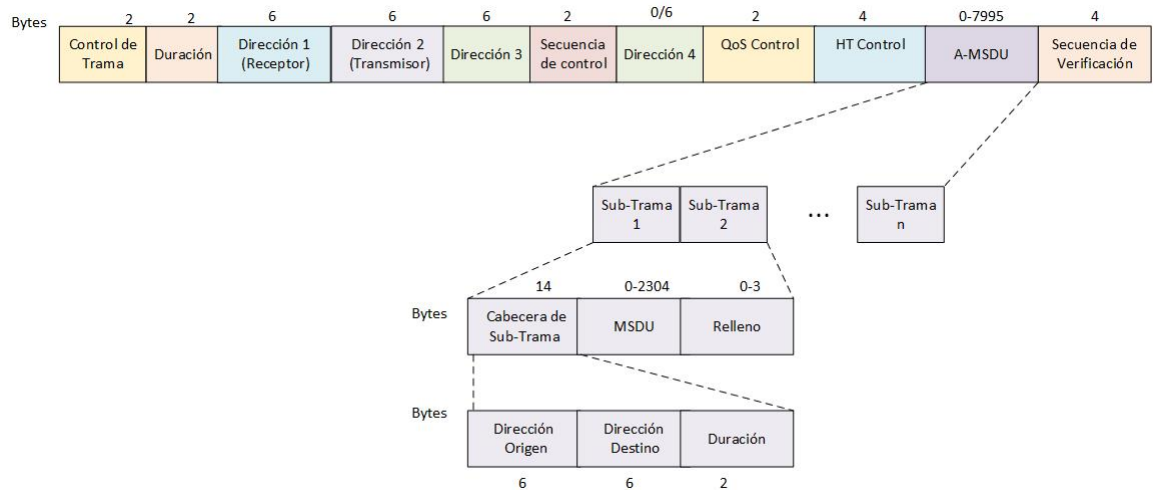


Figure 3.6: Esquema de agregación de tramas A-MSDU [?].

Otras mejoras

Como un intento de mejora de CSMA/CA buscando los requerimientos de calidad (QoS), se propone una división desbalanceada de tiempo en el empleo de CSMA (TD-u CSMA), este mecanismo se muestra como un significativo aporte a las HEWs, basándose en EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), un sistema mejorado

de acceso a canal distribuido propuesto en IEEE 802.11.e, asignando mayor prioridad a los parámetros EDCA, que garantizan el acceso al canal de todos los STAs.

Otra idea propone reportar al AP, los dispositivos en la red de forma que este tenga información de ellos, como lo es su requerimiento de ancho de banda entre otros, para que de esta manera se pueda adaptar las características de la capa PHY y MAC de acuerdo a los requerimientos de los usuarios. Realizar una comparación de la relación existente entre la oportunidad de transmisión y el tiempo de ocupación del canal. Implementar un mecanismo de detección de colisiones para cada STA para que se tenga un mejor control de la MAC. Mejorando la confiabilidad en el envío y respuesta de beacon frames. Añadiendo un segundo nivel a la priorización EDCA añadiendo mayor flexibilidad a este mecanismo permitiendo una mayor variedad en el empleo de diferentes tipos de paquetes [2].

3.3.2.2. MAC Multiusuario

El término *Canal de acceso multiusuario* se refiere a una técnica en la que múltiples STAs, cada uno con una o más antenas, transmitiendo simultáneamente o simplemente transmitiendo o recibiendo datos, realizando un solo proceso a la vez, el acceso de canales multiusuario ya sea por OFDMA o MU-MIMO por descarga y carga de datos permite al AP transmitir y recibir datos de múltiples STAs a la vez. A pesar del empleo de OFDMA y MU-MIMO en la capa PHY, como se muestra en la sec.3.3.1, se requiere de un esquema MAC eficiente. Esta característica no se encuentra disponible ni anteriormente implementada en IEEE 802.11, pero se propone que en este ámbito se pueda realizar una sincronización de parte de la AP, de forma que esta pueda sincronizar todas las transmisiones de cada una de las STAs. El desafío reside en que no se puede implementar este tipo de control sin necesidad de intercambiar información de control adicional y aún así el AP no estaría de acuerdo con tener en cuenta todos los requerimientos de transmisión de las STAs. Es una propuesta que aún no queda clara para el desarrollo de IEEE 802.11 ax, en lo que respecta al intercambio de paquetes multiusuario en la forma, según [2]. En la Fig. 3.7, se muestra un esquema referencial del funcionamiento.

3.3.2.3. IBFD MAC

El reciente avance en la tecnología IBFD rompe con los esquemas previstos de IEEE 802.11 MAC: Una STA puede transmitir o recibir en determinado instante en la misma banda de frecuencia. IBFD puede significar un crecimiento del rendimiento en las HEWs, pero varios problemas existentes en las MAC deben ser considerados para que se asuma el desarrollo de este tipo de tecnologías en las MAC. Por ejemplo, en un escenario en el que un AP intenta transmitir a un STA, se asume que dos tramas son de diferentes tamaños y es posible que otra STA intente acceder al canal siendo así como se produce la colisión y esto permite que no se realice un

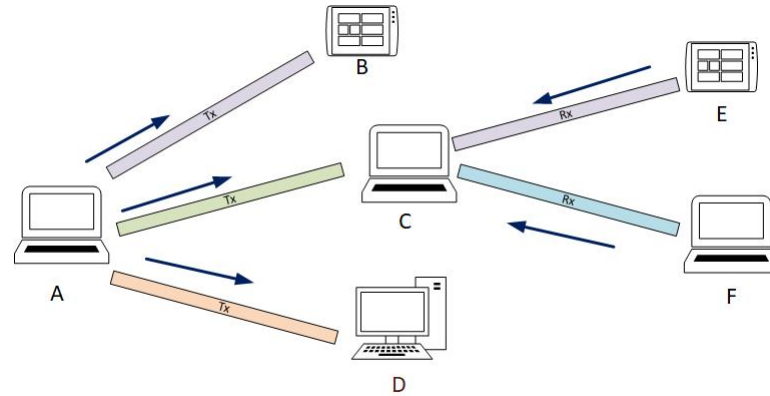


Figure 3.7: Esquema referencial del funcionamiento de la propuesta de MAC Multiusuario.

intercambio correcto de paquetes. Sin embargo, a pesar de ser una propuesta nueva e interesante que nos permite realizar una mejora a la red, existen diferentes tipos de problemas que a su vez presenta como son: El retraso en el envío de tramas y la interferencia entre nodos que existe. Para mejorar estas deficiencias, en [25] se propone un esquema de mejora basado en un sistema de *Polling* o sondeo, asignando a cada nodo un tiempo para la transmisión o recepción de datos, programando un tiempo específico para cada nodo. Otra propuesta de mejora para este sistema, se basa en proponer un esquema de contención de interferencias para redes inalámbricas Full-Dúplex (Wi-Fi FD) que sea dividido en contenciones internas y externas, para permitir una transmisión primaria y secundaria de datos [4].

3.3.3. Método de selección de Access Point para IEEE 802.11

La selección de acceso a APs es un problema no trivial. El método de acceso en redes Wi-Fi, consiste en emplear la selección del AP de acuerdo a la señal de mayor potencia, evaluando la RSS (Received Signal Strength) para determinar qué nodo debe ser el que se conecte a la red. Actualmente las redes WLANs son más comunes que en el pasado por lo que este tipo de selección de red no es eficiente. Se debe generar métodos que permitan escoger más adecuadamente la red o AP a conectar, empleando aspectos como el *throughput* o rendimiento de la red, *delay* o retrasos en la transmisión, ancho de banda y otras medidas.

Por ejemplo una medida efectiva de selección de AP es por la distancia a la que se encuentra el dispositivo. Es decir, se escogerá la AP que se encuentre a una menor distancia, otra característica que puede influir en la selección de la AP es la velocidad de datos, por lo que la AP que posea una mayor velocidad, tendrá una mayor capacidad de manejar un gran número de usuarios. Otra medida podría ser la medición del *delay* o tiempo de retardo que existe entre el AP y el dispositivo, es

así que aquella que permita un menor retardo será la AP con mejor capacidad de transmisión.

3.3.4. Técnicas de balanceo de carga en redes LAN inalámbricas

Existen soluciones que permiten balancear la carga de la red. El balanceo de carga en una red provee un método de costo efectivo, eficiente y transparente para expandir el ancho de banda de los dispositivos y servidores de la red, incrementando el *throughput*, mejorando la capacidad de procesamiento de datos y como consecuencia se observará una mejora en la flexibilidad y disponibilidad de la red [5]. Proponiendo diferentes técnicas que involucren el balanceo de carga como las siguientes:

3.3.4.1. Técnica de la descongestión de celdas

En esta técnica se propone que las celdas amplíen o reduzcan su cobertura, basándose en el ajuste y el control del balanceo de carga de la celda, logrando que mediante la detección de los *Beacon Frames* (tramas Beacon) que recibe un usuario, se determine qué celda es la que posee el AP con la mayor capacidad; entonces la estructura de red se conectará con el AP que posea la señal más fuerte. Se considera una técnica muy útil, pero no del todo efectiva pues no se considera más de dos variables en su desarrollo. Además, este tipo de red, divide la capacidad entre varios APs, como se muestra en la Fig. 3.8 que se presenta en [5].

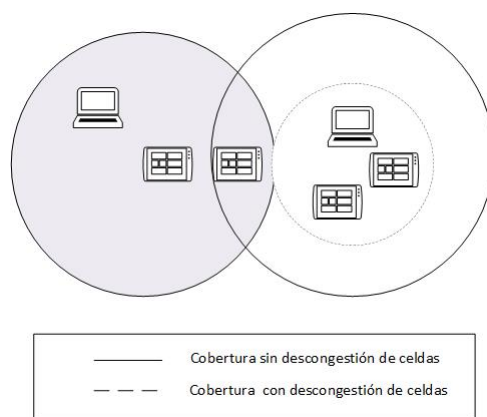


Figure 3.8: Técnica de descongestión de celdas [5].

3.3.4.2. Selección de canales

La selección automática de canales propone que un AP es informado de la existencia de otros dos APs, teniendo una comunicación que normalmente se emplea en los

servicios de redes Wi-Fi, empleando las frecuencias que se encuentran en el espectro de Wi-Fi, con canales de operación de 1, 6 y 11. Es así que se comparte toda la información entre los APs que forman la red y se busca que los canales en los que funcionan los diferentes APs sean diferentes para evitar la interferencia, de esta forma, el usuario busca el canal cercano con la menor interferencia. La dificultad principal de esta solución es que la diferencia entre los canales de operación no es muy grande y es por eso que a pesar de seleccionar un canal de operación diferente estos se superponen de todas maneras, como se muestra en la Fig. 3.9 [5].

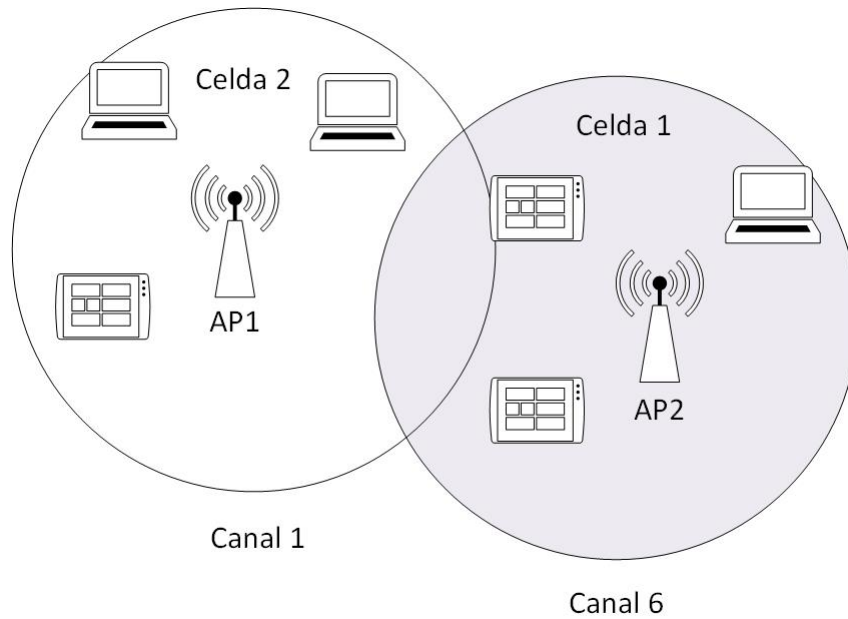


Figure 3.9: Modelo de selección de canales [5].

3.3.4.3. Modelo de red

Empleando un modelo de red en el cuál las AP y STAs en el cual están conectadas en una estructura predefinida a un controlador de red COA, este controlador posee información del balanceo de carga de la red y emplea algoritmos que intentan detectar el desbalance de la carga, controlando el funcionamiento de la red. La desventaja principal es que este modelo es que no es aplicable a todos los casos, sobretodo cuando existen redes de gran tamaño y con un gran número de usuarios. Según [5], esta propuesta se basa en emplear algoritmos que permitan detectar las diferencias entre la potencia de la señal empleada, así como la capacidad de transmisión de cada AP, para así de esta manera balancear la carga, ya que el controlador de red COA, propuesto recibe la información respecto a estas variables y permite controlar su comportamiento en la red.

3.3.4.4. Soluciones propietarias

Cisco Wireless Controller por CISCO

La propuesta de Cisco de una red unificada Cisco Unified Wireless Network (CUWN) tiene como objetivo que exista una forma de control generalizada en la red. Es así que el controlador de CISCO (WLC), realiza todas las funciones habituales de un AP normal, como lo son los procesos de autenticación y desautenticación, es así que los AP de la red denominados APs ligeros o *lightweigh APs* en este tipo de solución, realizan un proceso de envío y recepción de paquetes distribuidos y aprobados por el WLC, ya que el WLC posee toda la distribución y configuración de la red, lo cual en ciertos casos permite que se mejore las prestaciones de una red, logrando que esta sea más dinámica.

La solución propietaria de Cisco está planteada para ser desplegada en redes a larga escala, con un sistema de radio resource management (RRM) en una red empresarial. Este sistema, tiene características que mejoran el funcionamiento de la red, en aspectos como la movilidad y seguridad [26].

4 Propuesta de solución

Para describir la propuesta de solución se explicará, el contexto de la red, el modo de funcionamiento de la red, los estados del funcionamiento y el diseño que se empleará para el desarrollo de esta propuesta. Se emplean diferentes métodos para definir el porcentaje de disponibilidad de la red Wi-Fi, algunos son con límites puestos determinados por el administrador de la red, otros son los límites definidos por la velocidad determinada en cada terminal o dispositivo conectado a la red, otro límite es la disponibilidad de conexión según el número de usuarios admitidos en la red. Es por esto, que no se puede dar un escenario en el que la red emplee el total de su capacidad dado que tiene alguno de estos límites.

4.1. Contexto de la red en modo PCF (nodo maestro - nodos secundarios)

Se tiene una red inalámbrica Wi-Fi IEEE 802.11, que se sitúa en un escenario público interior y está conformada por un grupo de celdas pequeñas. Estas celdas pequeñas son del tipo Overlapping Base Set Station (OBSS), es decir celdas que se sobrelapan una sobre otra. La red admite la conexión de una gran cantidad y variedad de usuarios, constituyéndose en una red densa. Este tipo de redes se encuentran en espacios públicos de gran concurrencia como son aeropuertos, estaciones de trenes, escuelas, universidades y hospitales, entre otros. Tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 4.1, donde se muestra un ejemplo en el que se tienen varias celdas con tres frecuencias distintas. Cada celda usa una frecuencia diferente para así evitar colisiones e interferencias entre celdas, en la transmisión y recepción de paquetes. El funcionamiento de la red se da en el modo Point Coordination Function (PCF) con un nodo maestro, el Access Point (AP), el que coordina la transmisión de todos los nodos secundarios o esclavos, de forma que solamente uno envía datos a la vez y se evitan colisiones.

4.2. Estados de funcionamiento de la propuesta

Para comprender mejor el funcionamiento de la propuesta definiremos los siguientes estados de funcionamiento de la modificación:

- **Connected** : Un dispositivo se encuentra en este estado cuando está conectado a la red.

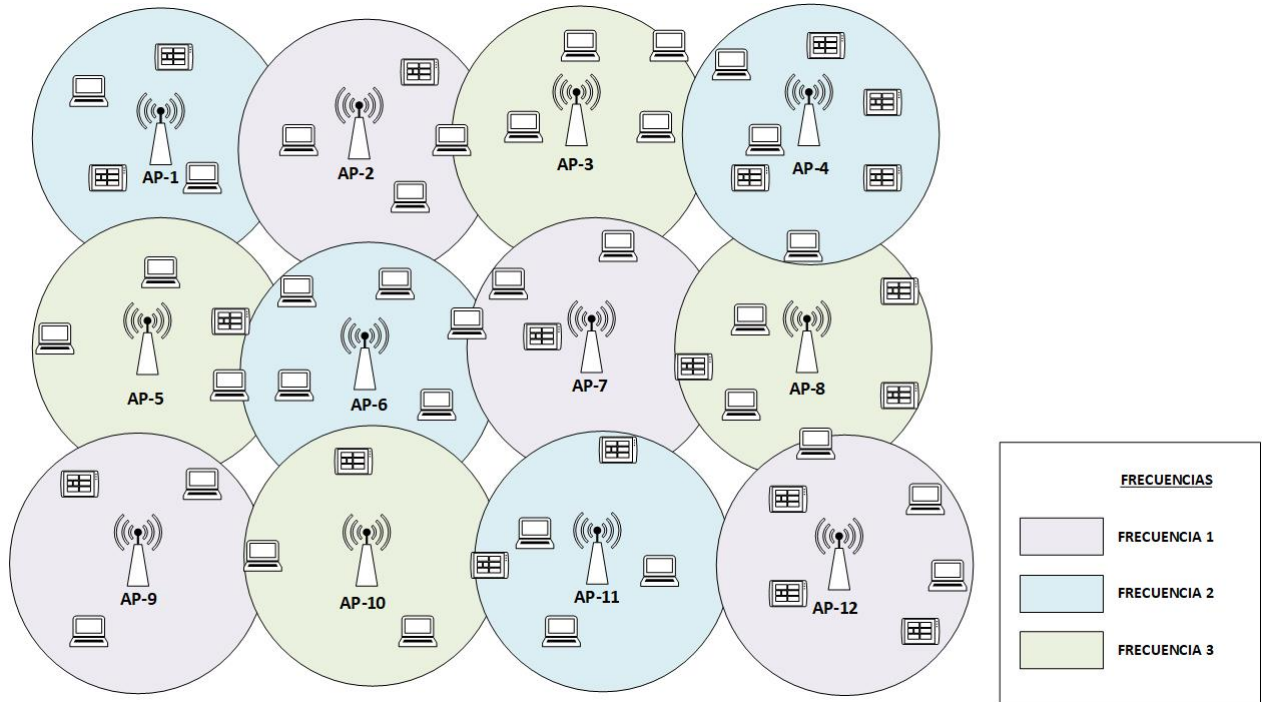


Figura 4.1: Ilustración del escenario planteado. [Elaboración propia]

- **Not Connected:** Un dispositivo se encuentra en este estado cuando no se está conectado a la red.
- **Idle:** Cuando el dispositivo se encuentre en la frecuencia F_x , frecuencia disponible para la recepción de mensajes de nodos que solicitan conectarse a la red. Este es un modo de espera, en que el nodo está disponible para recibir algún mensaje de otro nodo.
- **Listening:** Este estado se da cuando el dispositivo está escuchando los mensajes de los dispositivos que deseen conectarse a la red, en la frecuencia F_x .
- **Sending:** Estado en el que se da la comunicación entre un *Nodo R* y un *Nodo X* con la red, en la frecuencia F_x .

4.3. Modificación del funcionamiento del modo de operación PCF de Wi-Fi

El modo de operación de esta red es PCF (ver la Subsubsección 2.1.7.2). Para que los nodos que se encuentran en la red sean capaces de recibir la comunicación de los nodos que se encuentran fuera de la red, se introduce una ranura de tiempo común y en simultáneo a todos los nodos que se encuentran en la celda, la ranura es reservada

en modo *Idle*. De esta manera, el nodo que se encuentra fuera de la celda (a partir de ahora llamado *Nodo X*) puede enviar mensajes de requerimiento de conexión (Request to send RTS) solicitando un nodo Relay (a partir de ahora llamado *Nodo R*), que sea su nodo intermediario y tener acceso a la cobertura de la red. Los esquemas mostrados a continuación muestran la secuencia del funcionamiento de la extensión propuesta en el modo de operación PCF. Los nodos de la red cercanos al que se encuentra fuera de las celdas, tienen la oportunidad de recibir su mensaje, sintonizando su recepción en la frecuencia F_x , tal como se muestra en la Figura 4.2. Durante esta ranura de tiempo ningún nodo se encuentra transmitiendo.

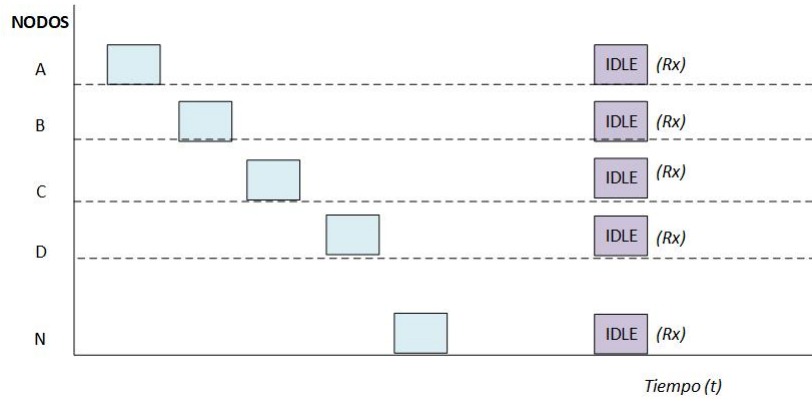


Figura 4.2: Posición del periodo *idle* en una celda (Elaboración propia).

Se produce el requerimiento de conexión cuando el *Nodo X* que se encuentra fuera de las celdas de cobertura, envía mensajes RTS. Una vez que todos los nodos se encuentran en la ranura *Idle* (como se muestra en Figura 4.3). Cada nodo enviará un mensaje de respuesta que permitirá al *Nodo X* saber qué nodo está más cerca, esperando la respuesta del más próximo para poder establecer conexión.

El *Nodo X* solamente podrá transmitir su mensaje una vez que escuche que la red se encuentra en modo *Idle*, ahí es cuando el mensaje será transmitido a los diferentes nodos y se establecerá la conexión de un *Nodo R* que, al unirse con otro nodo podrá establecer una ranura de tiempo en la que se sumen ambos requerimientos de información y se pueda enviar de manera que sea una comunicación transparente para el AP (Figura 4.4). En la red se representa, como se muestra en la Figura 4.7.

4.4. Escenarios de los posibles eventos

A continuación se describirán los escenarios de los posibles eventos que se darán en la red, bajo diferentes circunstancias.

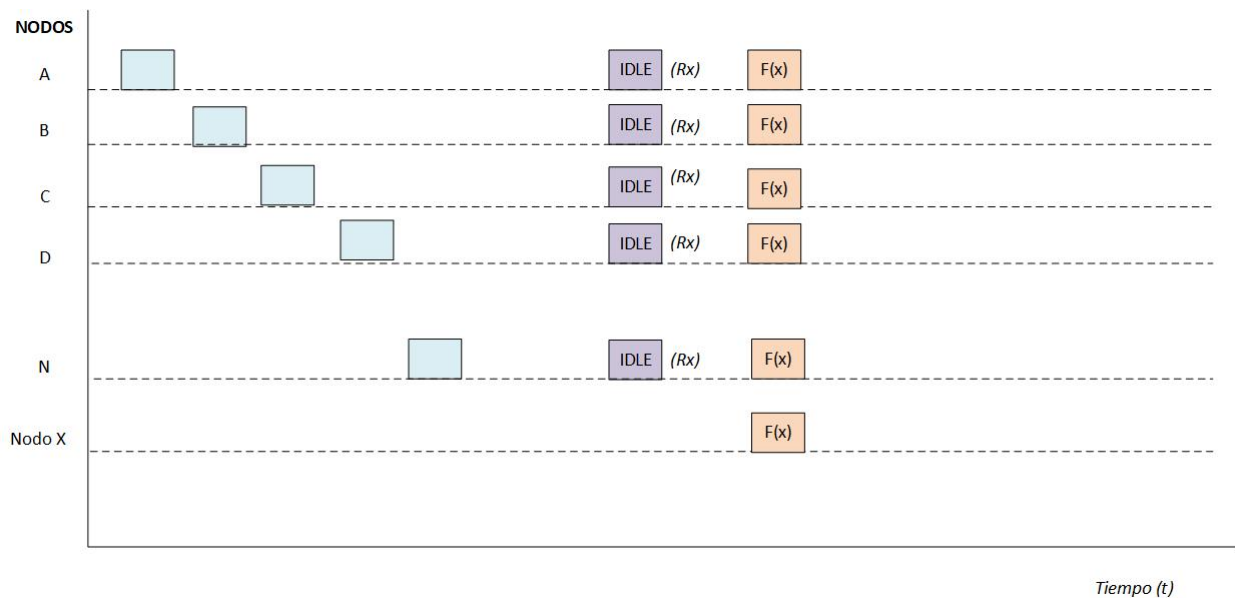


Figura 4.3: Envío de mensaje de requerimiento de conexión del *Nodo X* (Elaboración propia).

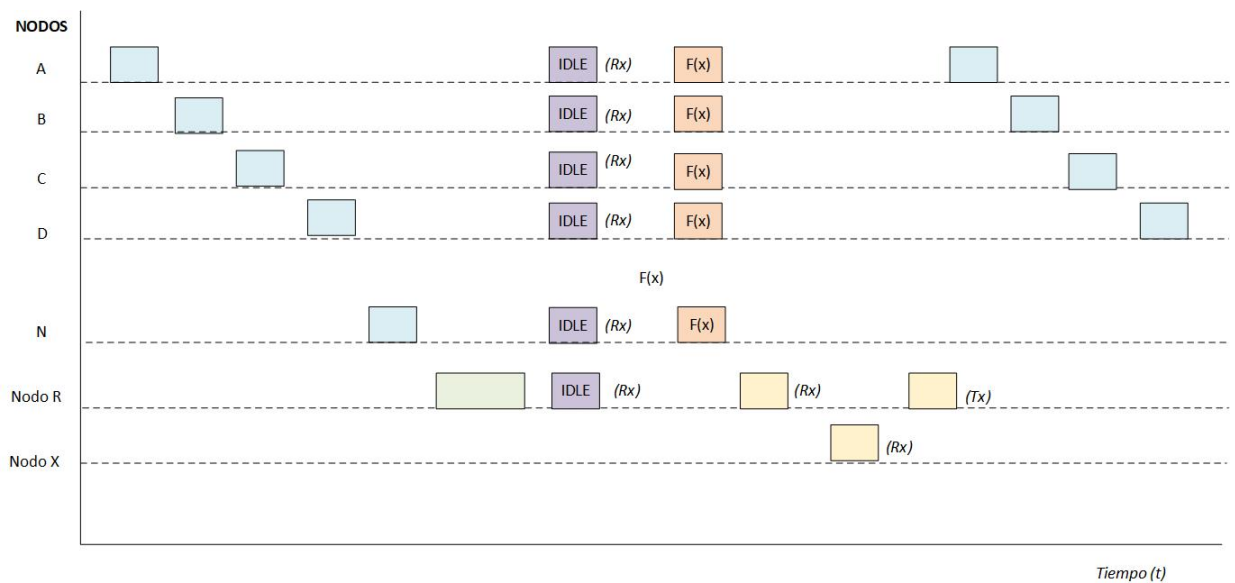


Figura 4.4: Comportamiento del *Nodo R* y *Nodo X* en la red (Elaboración propia).

4.4.1. Escenario 1: Nuevo nodo fuera de cobertura solicita conexión

Considerando el contexto descrito anteriormente, se detalla con un ejemplo el evento en el que un nodo que está fuera del área de cobertura, requiere conexión. Se tienen

dos APs (AP_1 y AP_2) cada una de ellos formando una celda con un número determinado de dispositivos y con una capacidad determinada. Una de las celdas (AP_1) se encuentra al 100 % de su consumo y usa una frecuencia f_1 , por lo que no puede aceptar la conexión de un dispositivo más; mientras que la otra celda (AP_2) tiene un consumo al 70 % y usa una frecuencia f_2 , por lo que aún tiene la capacidad de permitir la conexión a otros dispositivos. Este ejemplo se observa en el ejemplo de la Figura 4.5.

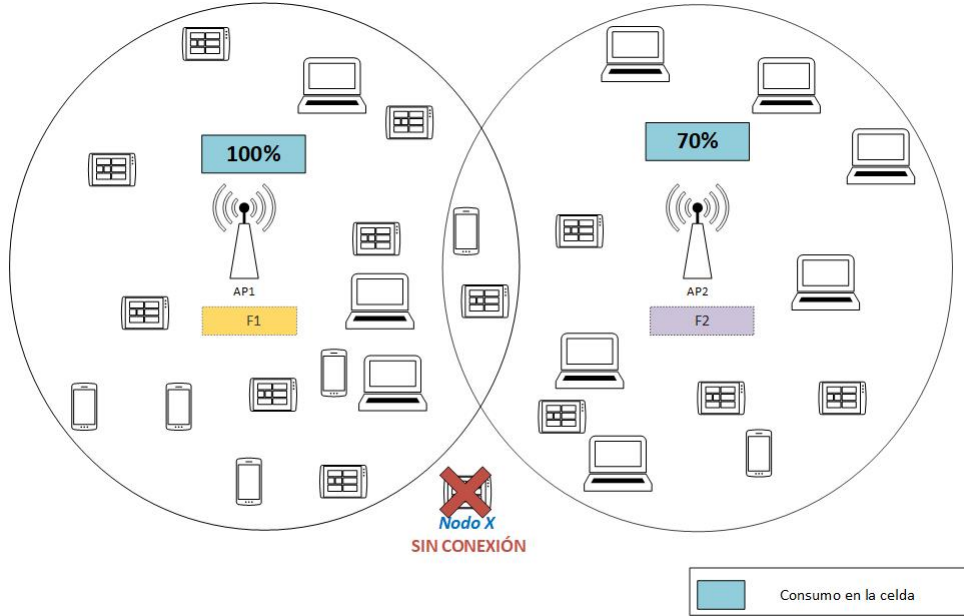


Figura 4.5: Escenario en el que un *Nodo X* requiere conexión y está fuera de cobertura.

Un nuevo dispositivo (*Nodo X*) requiere conexión a la red y no la encuentra, debido a que está fuera del área de cobertura de las celdas (Figura 4.5). Al no tener la capacidad de conectarse a un AP, empleando el modo DCF (explicado en la sección anterior) envía mensajes RTS a los dispositivos cercanos en el radio de transmisión del *Nodo X* (Figura 4.6) para que, al recibir respuesta, pueda conectarse a la red mediante un *Nodo R* (nodo conectado a la red que posea las características deseadas).

Al recibir la respuesta de los nodos que respondieron, el nuevo dispositivo que desea conectarse elige el que tenga capacidad disponible y que se encuentre a la menor distancia del nuevo dispositivo. Esto se decidirá teniendo en cuenta el menor tiempo de respuesta. Entonces, así se conforma el *Nodo R*, (Figura 4.7).

Este *Nodo R* recientemente conformado se comportará de forma transparente frente al coordinador de la celda. Es decir, el AP empleará el modo de operación PCF y para él no se ha producido ningún cambio descrito en anteriormente. El *Nodo R* no revela que tiene un dispositivo adjunto conectado, al momento de realizar la

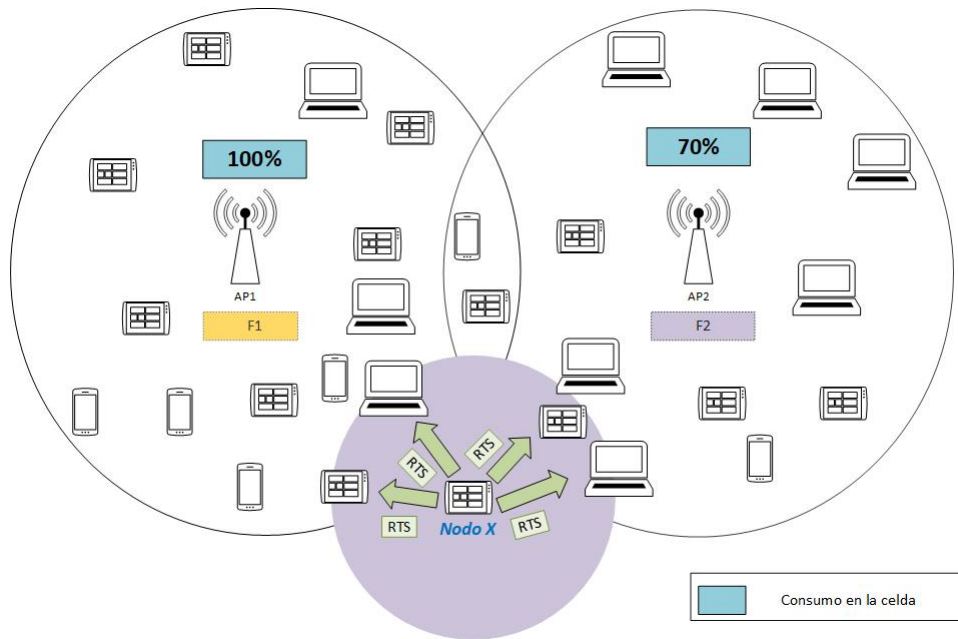


Figura 4.6: Solicitud de formación de *Nodo R* del nuevo dispositivo.

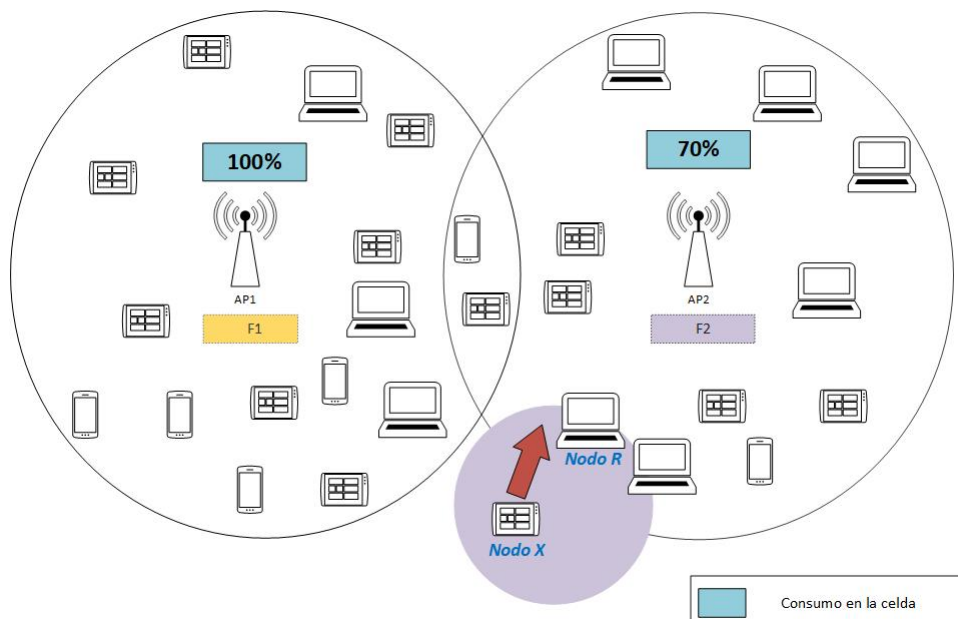


Figura 4.7: Formación del *Nodo R*.

transmisión de datos simplemente el dispositivo solicitará al AP más capacidad de conexión, que se traducirá en un mayor tiempo de transmisión de datos, el cual responderá a su *Nodo X* conectado.

4.4.2. Escenario 2: Desconexión del *Nodo R* del *Nodo X*

4.4.2.1. Escenario 2.1: Desconexión del *Nodo R* del *Nodo X* por partida del *Nodo R*

En este escenario el *Nodo R* se desconecta del *Nodo X*, debido a que la posición del *Nodo R* cambia, quedando el *Nodo X* fuera del área de cobertura del *Nodo R*. El *Nodo X*, que envía tramas *alive* (de control) cada cierto número de tramas al *Nodo R*, nota que el *Nodo R* está fuera de su alcance al no recibir ninguna respuesta, luego de tres intentos, como se muestra en la Figura 4.9. Como no obtiene respuesta, el *Nodo X* asume que el *Nodo R* no se encuentra disponible por desplazamiento o desconexión de la red. Finalmente el *Nodo X* realizará de nuevo el procedimiento de buscar un nuevo *Nodo R* o conectarse de otra forma a la red.

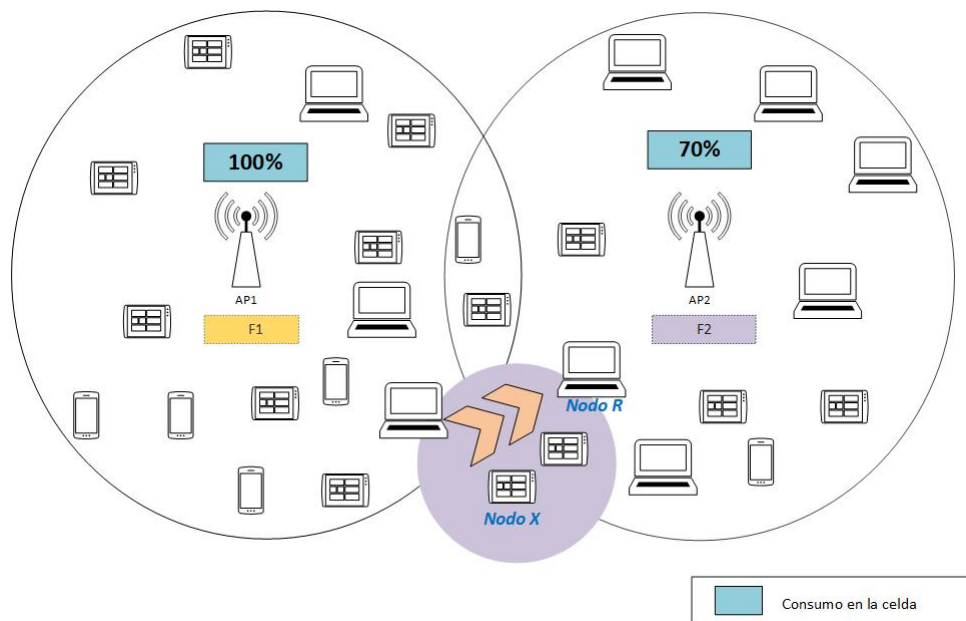


Figura 4.8: Desplazamiento del *Nodo R* (*Nodo X* queda fuera de la cobertura del *Nodo R*).

4.4.2.2. Escenario 2.2: Desconexión del *Nodo X* por falta de capacidad del *Nodo R*

Este escenario se presenta cuando el *Nodo R* ya no posee la capacidad suficiente para servir de intermediario del *Nodo X* en la red. Es decir que el consumo del *Nodo R* es mayor y el ancho de banda de la red es insuficiente para tener un *Nodo R*, por lo que se debe realizar un procedimiento de desconexión de manera que el *Nodo R* permanezca conectado en la red sin servir al *Nodo X* (Figura 4.10). Esto se detecta cuando el *Nodo X*, ve reducida su velocidad a un umbral mínimo predefinido.

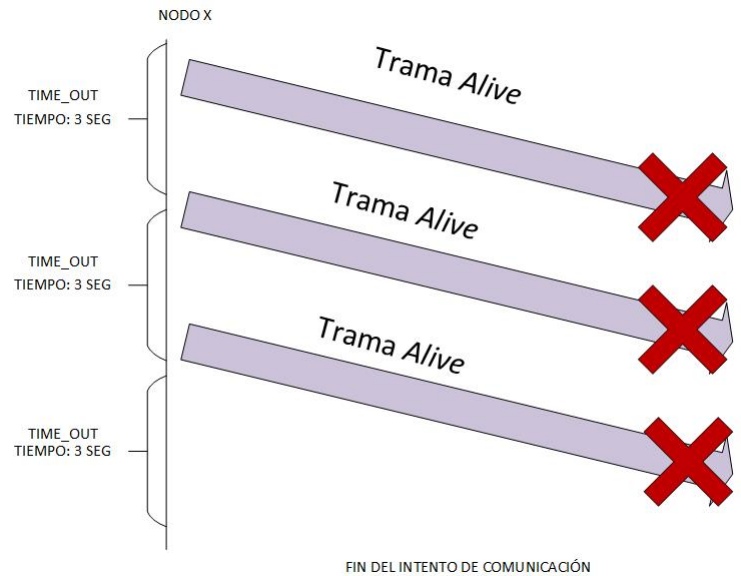


Figura 4.9: Envío de Tramas ACK que no llegan a su destino.

4.4.3. Escenario 3: Desconexión del nodo X por cambio de posición

Este escenario sucede cuando al tener el *Nodo X* cambia de posición y se desconecta del *Nodo R*. Esto puede suceder cuando el *Nodo X* se encuentra dentro del área de cobertura de un AP, cuando encuentra un nodo relay más cercano y con más capacidad. En este caso, el *Nodo X* cortará la comunicación con el *Nodo R*, enviando una trama de desconexión. Luego el *Nodo X* intentará conectarse a la red mediante el AP de forma convencional, o en caso contrario, volverá a intentar encontrar otro *Nodo R* en la nueva posición que se encuentra (Figura 4.11).

4.4.4. Escenario 4: Surgimiento de dos o más nodos Relay en la red

Este escenario se da cuando surgen dos o más *Nodos R* en la red, debido a que existen dos o más *Nodos X* que buscan conexión. En este caso, se recibirá los mensajes de requerimiento de conexión, y se buscará un nodo que se encuentre más cerca, dependiendo del nodo que envíe el mensaje. Recurriendo al protocolo de contención de Wi-Fi, un *Nodo X* se podrá conectar solo a un *Nodo R* a la vez, para conformar un *Nodo Relay*. Esto sucederá de manera que cuando existan dos o más *Nodos X* en la red buscando *Nodos R* solamente se admitirá la conexión de un *Nodo X* a la vez, logrando que el primero se una a la celda y luego del surgimiento del *Nodo R*, se creará otro, y así sucesivamente si existieran más. Como se muestra en la Figura 4.12 y en la Figura 4.13, solamente se admitirá un *Nodo X* conectado a un *Nodo R*. No se podrá anidar un *Nodo X* sobre un *Nodo X*. Simplemente sucederá la creación de *Nodos R* siempre y cuando exista la capacidad en la celda.

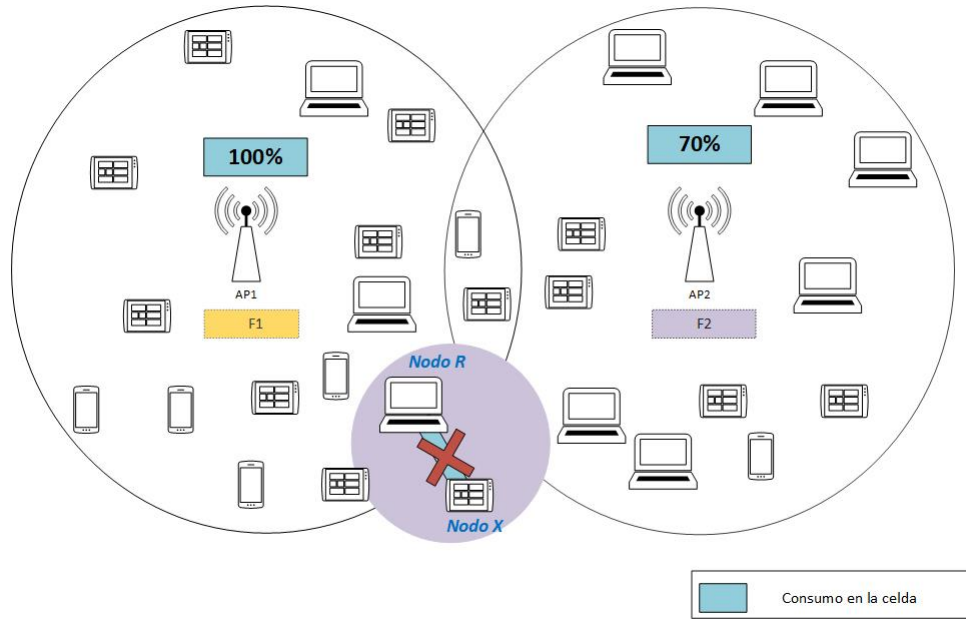


Figura 4.10: Desconexión del *Nodo X* por falta de capacidad del *Nodo R*.

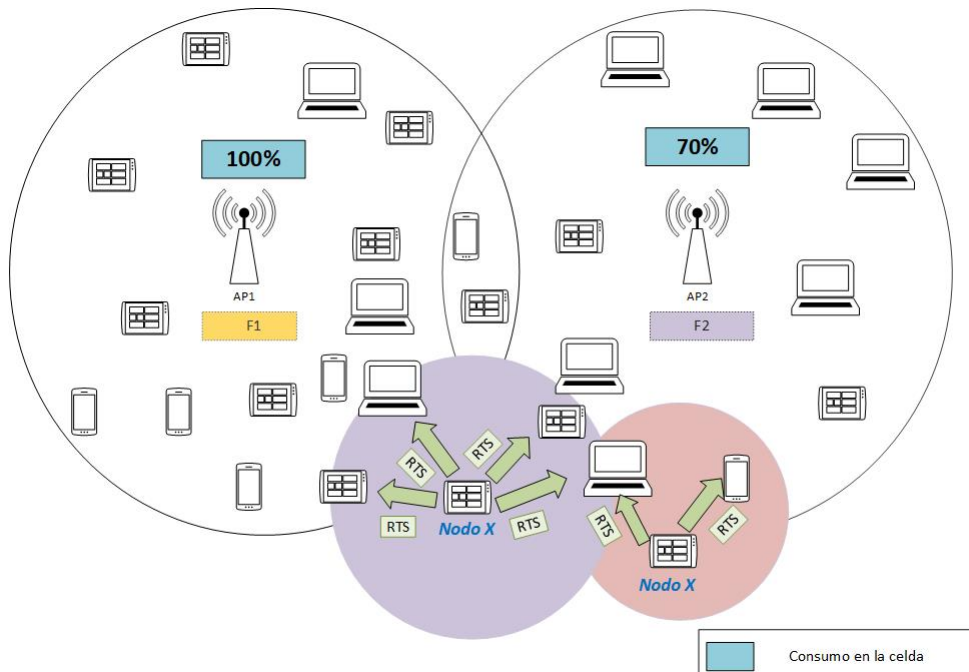


Figura 4.12: Escenario cuando hay dos nodos que buscan un *Nodo R* a la vez.

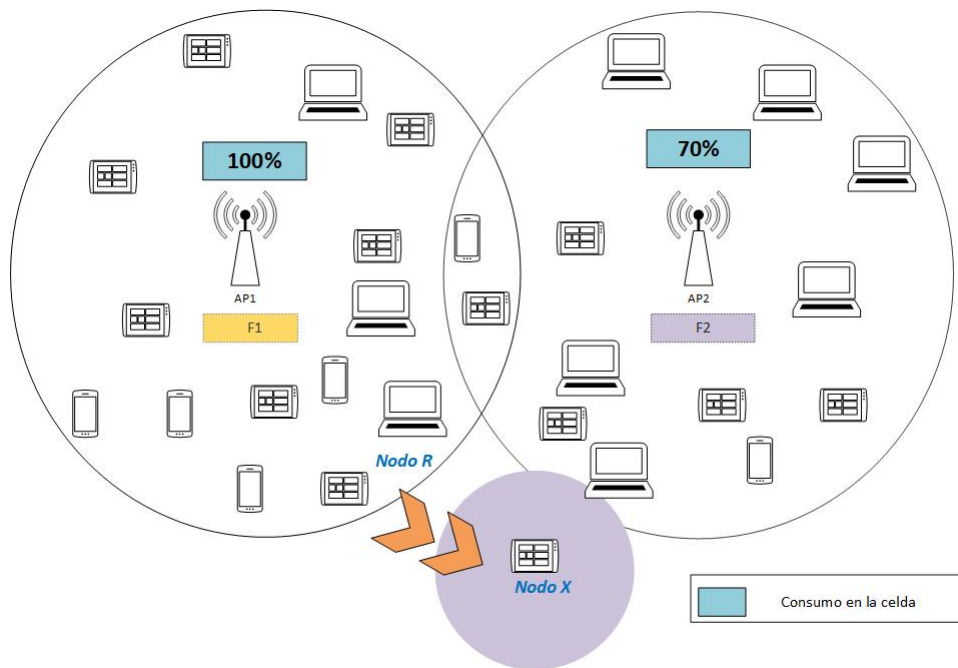


Figura 4.11: Desplazamiento del *Nodo X*.

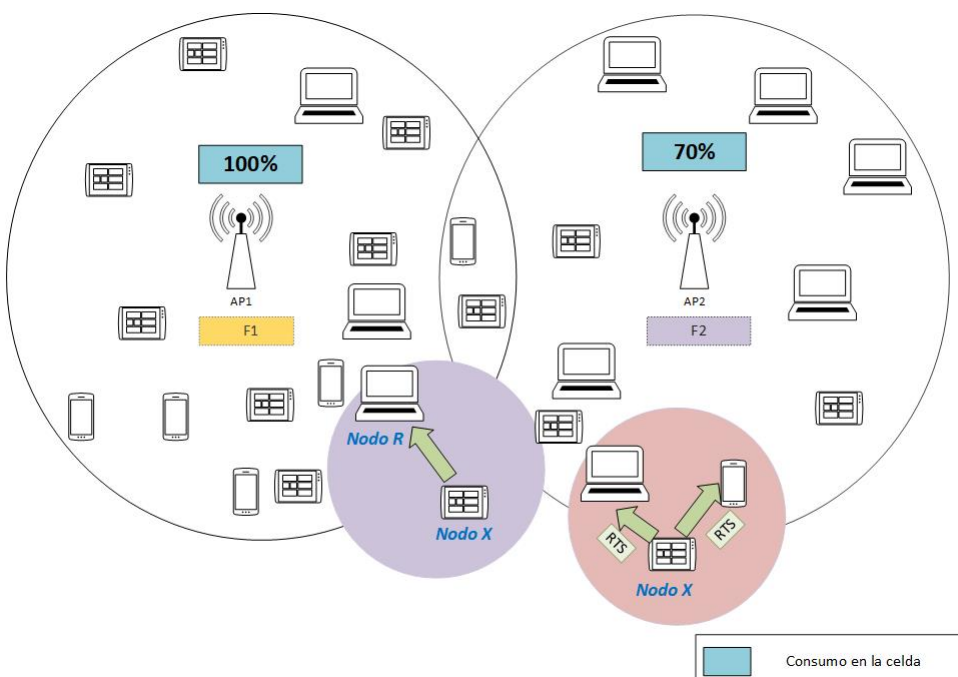


Figura 4.13: Establecimiento de un *Nodo R* y luego otro *Nodo X* en espera.

4.4.5. Escenario 5: Falta de capacidad en la celda para el surgimiento de un *Nodo R*

El surgimiento de un *Nodo R* solamente será posible sólo si se cumplen dos características en una celda de la red: El AP deberá contar con la capacidad de ancho de banda suficiente para originar un *Nodo R* que cumpla con lo requerido solicitado por el *Nodo X* ; además el radio de cobertura del *Nodo X* debe encontrarse en el *Nodo R*. Cuando esto sucede, el nodo simplemente no recibirá ningún mensaje de parte del *Nodo R*, envía sucesivamente tres intentos de conexión mediante un mensaje RTS y al no tener respuesta se negará la conexión. Así como se muestra en la Figura 4.14.

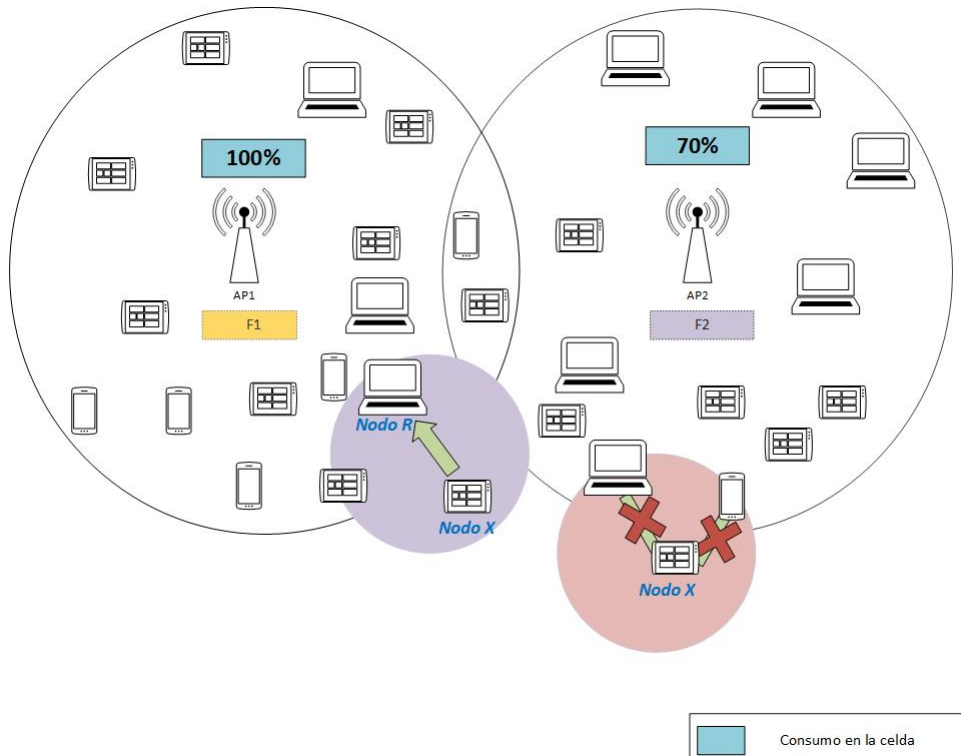


Figura 4.14: Escenario cuando no existe una conexión disponible.

4.4.6. Surgimiento de un nodo Relay con dos *Nodos X* conectados

Una vez creado un *Nodo R* existe la posibilidad de que éste pueda atender a otro *Nodo X*, gestionando de esta manera una pequeña red que tiene como Access Point a un *Nodo R* (Figura 4.15). En este caso, el *Nodo R* atiende al *Nodo X* de la misma forma que funciona la extensión del protocolo, intercambia paquetes de cada nodo, uno a la vez, de la misma forma que se muestra en el modo de funcionamiento de la extensión del protocolo en Sección 4.3. La forma en la que se realiza el proceso de intercambio de paquetes se muestra en la Figura 4.16.

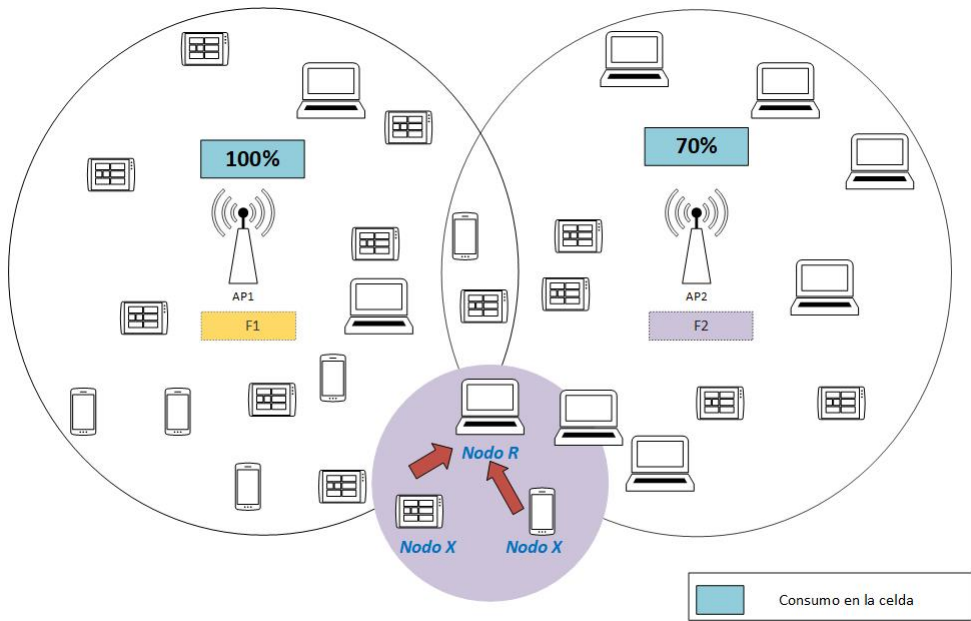


Figura 4.15: Escenario en el cuál existe un *Nodo R*, que provee conexión a dos *Nodos X*.

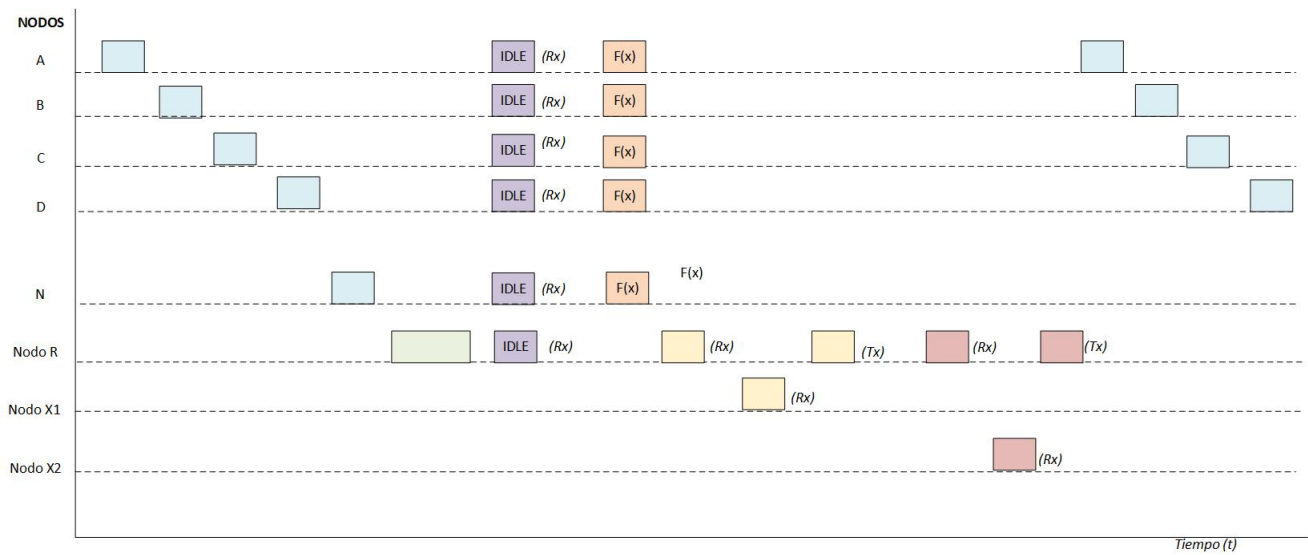


Figura 4.16: Comportamiento del *Nodo R*, con dos *nodos X*.

4.5. Modelo de probabilidad de la propuesta

De acuerdo a los escenarios previamente planteados y tomando en cuenta el modelo de la red previamente descrito, se plantea el siguiente modelo de probabilidad, de acuerdo a una red genérica mostrada en la Figura 4.17. Se puede observar cómo se distribuyen las áreas de cobertura. El modelo respecto a la probabilidad que un nodo se puede conectar a la red. Se consideran dos celdas de similares características, que poseen el mismo radio de cobertura, la capacidad de recibir el mismo número de terminales y la diferente distribución de usuarios al momento de generar el *Nodo Relay*.

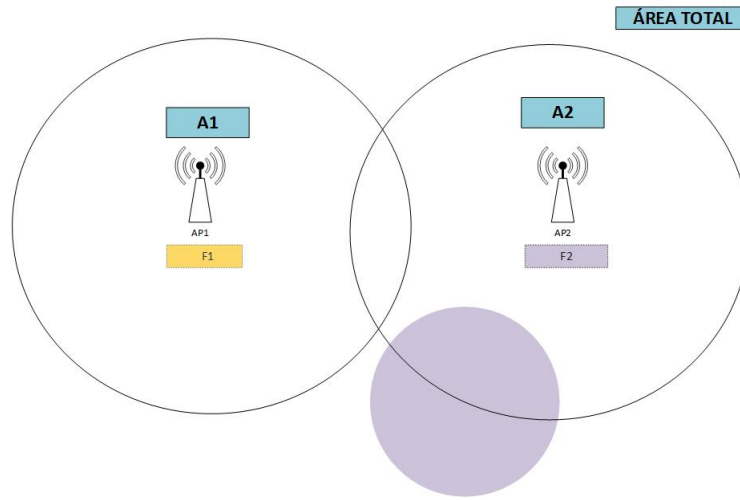


Figura 4.17: Modelo único del escenario planteado.

Según lo previamente determinado, para definir la probabilidad normal de conexión de un nodo en la red emplearemos las siguientes variables:

n = Número de nodos en la red.

A_t = Área total de la red.

A_{c1} = Área de cobertura de la celda A1.

A_{c2} = Área de cobertura de la celda A2.

$B_w \text{ available}$ = Ancho de banda disponible.

A_{ext} = Área de cobertura extendida.

$m =$ Número de nodos que pueden ser atendidos por una celda.

$AR =$ Área de cobertura de una celda con Nodo Relay.

Donde la probabilidad que tiene un nodo de conectarse en un escenario Wi-Fi tradicional estándar es la siguiente:

$$P(x) = \frac{Ac1}{At} \cdot \left(\frac{m}{n}\right) * Bwavailable * x \quad (4.1)$$

la probabilidad de un nodo de conectarse a la red en el área de cobertura de la celda $A1$, y

$$P(x) = \frac{Ac2}{At} \cdot \left(\frac{m}{n}\right) * Bwavailable * x \quad (4.2)$$

La probabilidad de un nodo de conectarse a la red en el Área de Cobertura de la celda $A2$.

La gráfica resultante de este modelo de probabilidad empleando el Wi-Fi estándar, se muestra en la Figura 4.18.

Y finalmente la probabilidad que se da cuando se toma en cuenta el área del *Nodo Relay*, que se presenta cuando se emplea el protocolo Wi-Fi extendido en los diferentes casos está dada por:

$$P(x) = \frac{Ac1 + Aext}{At} \cdot \left(\frac{m}{n}\right) * Bwavailable * x \quad (4.3)$$

Que es la probabilidad de un nodo de conectarse a la red en el área de cobertura de la celda $A1$ y

$$P(x) = \frac{Ac2 + Aext}{At} \cdot \left(\frac{m}{n}\right) * Bwavailable * x \quad (4.4)$$

La probabilidad de un nodo de conectarse a la red en el área de cobertura de la celda $A2$.

En la Figura 4.19 se puede observar cómo se incrementa la probabilidad de conexión al usar el protocolo Wi-Fi modificado.

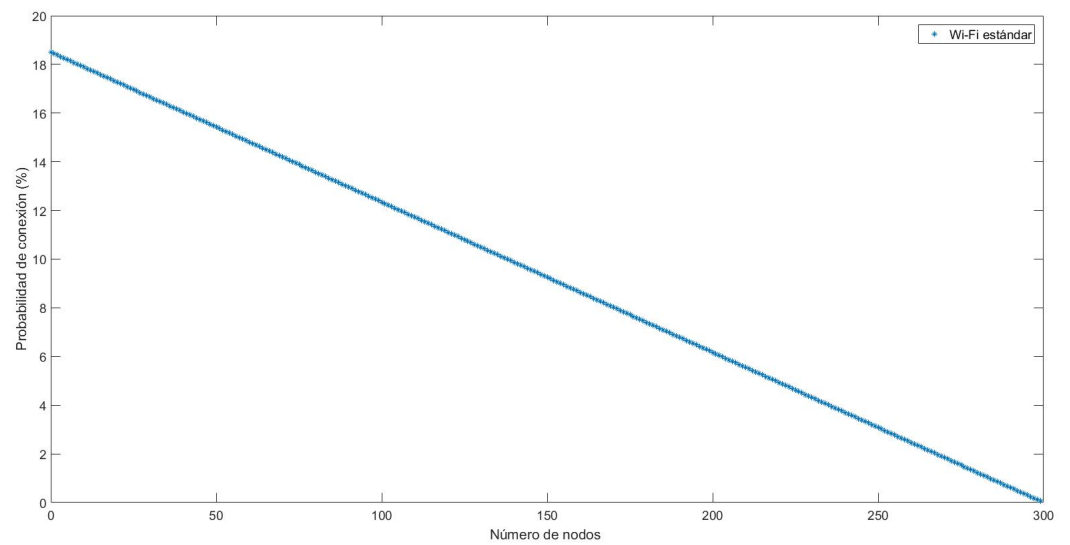


Figura 4.18: Probabilidad de conexión de los nodos, según se incrementa el número de nodos, empleando Wi-Fi estándar.

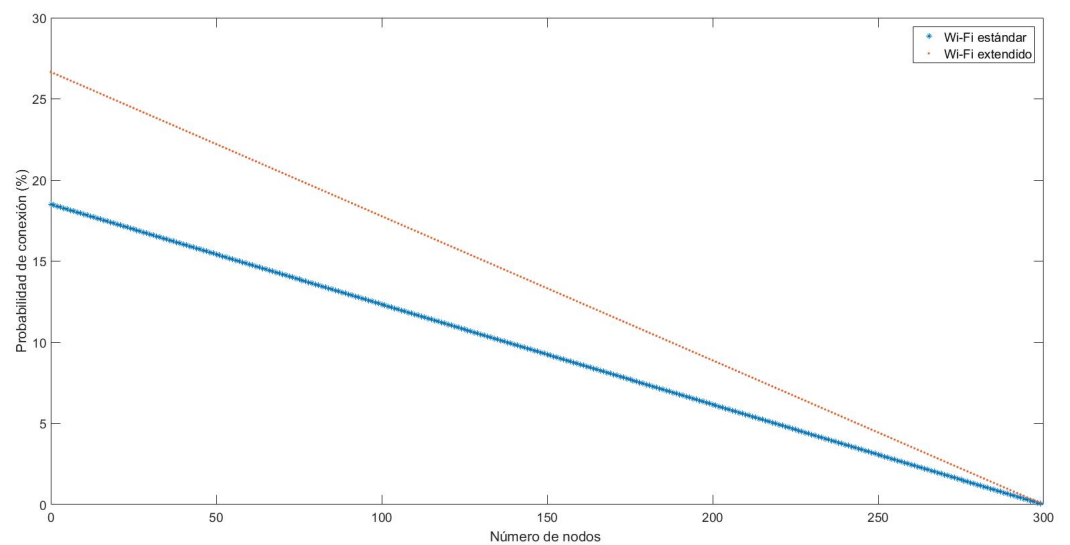


Figura 4.19: Comparación de la probabilidad de conexión de nodos con Wi-Fi modificado o extendido y con Wi-Fi estándar.

5 Simulaciones y resultados

Con el objetivo de demostrar la efectividad de la propuesta y los escenarios planteados en el capítulo anterior, se proponen diferentes simulaciones de redes en distintos escenarios que varían según la cantidad de puntos de acceso (Access Points, APs), el número de dispositivos conectados y el tipo de dispositivos (tablets, computadoras o smartphones), definidos en la simulación como dispositivos móviles. Cada dispositivo es distinto en cuanto a su capacidad de conectividad y ancho de banda, dependiendo del consumo del usuario conectado a la red.

5.1. Alcances de la simulación

El objetivo principal de la simulación es demostrar que la idea de compartir ancho de banda a través de nodos *Relay* que permiten ampliar la capacidad de conectividad y aprovechar mejor los recursos de todas las celdas en su conjunto. Se desea demostrar que la implementación de esta solución es eficaz para ampliar la cobertura de las celdas y para destinar recursos desde celdas con capacidad sobrante hacia otras.

Los indicadores empleados para probar el correcto funcionamiento de esta simulación son:

1. El número de dispositivos conectados en un AP.
2. El ancho de banda aprovechado en cada AP.
3. La cantidad de dispositivos conectados en total a la red.

5.2. Descripción de las condiciones de la simulación

5.2.1. Condiciones del escenario

Se asume el funcionamiento correcto del protocolo Wi-Fi, es por eso que solamente toman las características indispensables para realizar las pruebas. Por efectos de presentación, en la simulación se presentan dos partes principales: La primera es la parte operativa, donde se puede obtener los datos de la simulación, y la segunda es la parte gráfica, donde se puede apreciar cómo se produce el proceso de conexión de los diferentes dispositivos y cómo se generan los nodos *Relay*.

Además se asume el correcto funcionamiento de todas las capas de TCP/IP. En la capa 2 (enlace de datos) y 3 (acceso al medio), se propone realizar las mejoras del protocolo Wi-Fi.

Los escenarios presentados describen un grupo de APs conectados a la red, en un espacio de alto tránsito de usuarios, en un mismo espacio físico, con las mismas dimensiones, que puede ser el piso de un edificio público, donde existe una gran cantidad de usuarios temporales, con una movilidad aleatoria en el espacio y que pueden variar en su consumo de ancho de banda en la red, características que son definidas por el tipo de dispositivo empleado (tablets, smartphones o laptops).

5.2.2. Condiciones simuladas

Dado que se trata de dispositivos móviles, en esta simulación se asume que cada dispositivo realiza un movimiento de cada dispositivo del tipo *Random Walk* (caminata aleatoria), así como valores aleatorios del consumo de ancho de banda de cada dispositivo.

La simulación del *Random Walk* es un algoritmo que genera una cantidad determinada de pasos y un ángulo aleatorio de posición para un nuevo movimiento, es decir que, dependiendo de un valor aleatorio asignado a cada tipo de dispositivo se producirá un movimiento que cada determinado tiempo cambiará de posición al dispositivo, simulando el movimiento natural de una persona en una red pública Wi-Fi.

Los dispositivos móviles generados por la simulación poseen las siguientes características: dirección IP, identificación del dispositivo, posición, tipo de dispositivo y ancho de banda consumido. Estos dispositivos se encuentran en la red en una posición aleatoria buscando conectarse al AP más cercano y en caso de no encontrarlo, deciden buscar un nodo R o nodo *Relay*.

Los APs se encuentran en una posición fija, sin movimiento. Poseen una capacidad de almacenamiento, un ancho de banda previamente determinado y una velocidad de transferencia de datos. Estos APs se encargan de recibir a los usuarios o dispositivos en la red, dependiendo de la capacidad del consumo de ancho de banda que tengan disponible, así como también de la distancia a la que se encuentren los dispositivos, ya que cada AP posee un radio de cobertura determinado.

5.3. Descripción de la implementación

La simulación ha sido desarrollada en Java IDE Eclipse Jee Oxygen, se implementó el modelo que integre los objetos principales con las principales características de los nodos y las APs generadas. También se simularon las variaciones en el tiempo que se producen en las conexiones de los dispositivos. . Debido a las características y las

condiciones requeridas en los escenarios, se realiza la simulación en Java debido a la flexibilidad de esta plataforma de programación para establecer o diseñar nuevos escenarios que vayan de acorde a lo que la propuesta desea implementar y simular.

5.3.1. Objetos simulados

Los objetos implementados en la simulación, son los siguientes:

- ***Access Point o AP:*** Describe las características de un Access Point, permitiendo el almacenamiento de la información de conexión de los dispositivos que se encuentran conectados a la red, así como la capacidad necesaria requerida por cada uno de los dispositivos conectados a éste.
- ***Mobile Device o Dispositivo Móvil:*** Este objeto describe las características de los diferentes dispositivos generados de forma aleatoria, con características de ancho de banda, velocidad de conexión, tipo de dispositivo y posición en el espacio.
- ***Network o Red:*** Contiene todos los anteriores objetos de la red, uniendo los dispositivos de forma que puedan realizar las funciones de la red, es decir que interactúen entre ellos y realicen los procesos de conexión y desconexión.

5.4. Implementación de la simulación

Tal como lo mencionamos anteriormente, la implementación de la simulación se hizo en lenguaje Java JSE, en el IDE Eclipse. En este entorno se simula un escenario que representa una red altamente densa.¹ Es una red simulada de celdas sobrelapadas en un espacio público, universidad, escuela, estación de tren, aeropuerto, etc. Este escenario se encuentra en un solo piso y las celdas sobrelapadas pueden ser de una a cinco en un mismo espacio.

En esta implementación se ha codificado objetos que identifican a cada una de las clases que son:

- ***apNode***, que representa el AP (Access Point) al que se conectarán los usuarios. Posee una cantidad de tráfico asignada, además de una cantidad de usuarios admitidos por cada celda de la red, que en este caso será de 100 usuarios como máximo por celda. El AP admitirá la cantidad de usuarios que se puedan conectar dependiendo de la cercanía a la celda, ya que esta posee un radio determinado de cobertura. Además no deben exceder la capacidad de ancho de banda del AP. Este objeto posee un hilo (*thread*) que permite que realice

¹ Una red es considerada como densa debido a que el requerimiento de conexión de usuarios excede la cantidad de usuarios que puede contener esta red. con un número variable de usuarios (mínimo 150 usuarios y máximo 1000 usuarios).

procedimientos de conexión y desconexión de dispositivos de manera independiente del funcionamiento de la red y que además los registre dentro en un array de memoria. Gráficamente, este dispositivo se encuentra de forma estática en la red. Además posee una tabla de información que está vinculada al objeto donde se puede apreciar la información del objeto.

- **mobileDevice**, representa a un dispositivo móvil que se encuentra en la red buscando conexión. Este dispositivo tiene unas características determinadas de manera aleatoria, como lo son el tipo de dispositivo que puede ser (laptop, tablet o smartphone), además del ancho de banda que requiere. Este dispositivo posee un movimiento aleatorio en la red que se da por el algoritmo *random walk* que permite mediante cálculos simples asignar una posición en dos dimensiones en el espacio de la pantalla. Además cada uno de estos dispositivos posee un radio de cobertura determinado, con el que puede acceder a la conexión del AP o a través del que puede establecerse como nodo *relay*. Todas estas características son manejadas por el objeto en forma de hilos o *threads*, esquema en que cada uno de los dispositivos es un hilo y realiza su procedimiento de forma independiente, buscando conexión a un AP, evaluando las características de disponibilidad y distancia. En caso no encuentre la conexión con un AP, en la red, se realiza la búsqueda automática de un nodo *relay* para establecer la conexión a la red.

La implementación del simulador se realiza de forma gráfica que busca mostrar las características visuales de cada objeto. Cada uno de los hilos, funciona identificando a cada uno de los objetos, integrando la funcionalidad de cada objeto con representación gráfica. Cada uno de los objetos tiene un procesamiento independiente de funcionamiento y están unidos a los hilos que permiten el funcionamiento de la red.

El procedimiento de inicio de la simulación, en la Figura 5.1 permite establecer una red con un número determinado de APs que coberuran un número determinado de dispositivos conectados con una posición aleatoria determinada y que buscarán conectarse a una celda. Si no pudieran conectarse a una celda, buscarán la posibilidad de conectarse a través un nodo *relay*. Cada uno de los dispositivos tiene un hilo conectado a una tabla donde se guarda la información del dispositivo y cada AP posee una tabla que almacena la información de los dispositivos que tiene conectados. Luego de iniciada la simulación los dispositivos tendrán un movimiento aleatorio, que les permitirá moverse en todo el espacio disponible de la red, de forma que se realice un procedimiento de conexión y desconexión mientras cada uno de los dispositivos va realizando (Figura 5.2).

5.5. Características gráficas de la simulación

En la parte gráfica de la simulación hemos desarrollado un entorno en el cual se pueden observar los nodos y sus diferentes características. Es así que primero tenemos un entorno en el que se presenta la elección del tipo de simulación, como

podemos observar en la Figura 5.1, donde se muestra opciones de red múltiples, las que presentan diferentes números de APs en la distribución del mismo espacio físico, correspondientes a modelos de simulación de una, tres, seis y nueve APs, respectivamente. Estas diferentes simulaciones han sido determinadas como valores referenciales, en las que luego de realizadas las pruebas se puede apreciar las diferencias de comportamiento entre ellas.

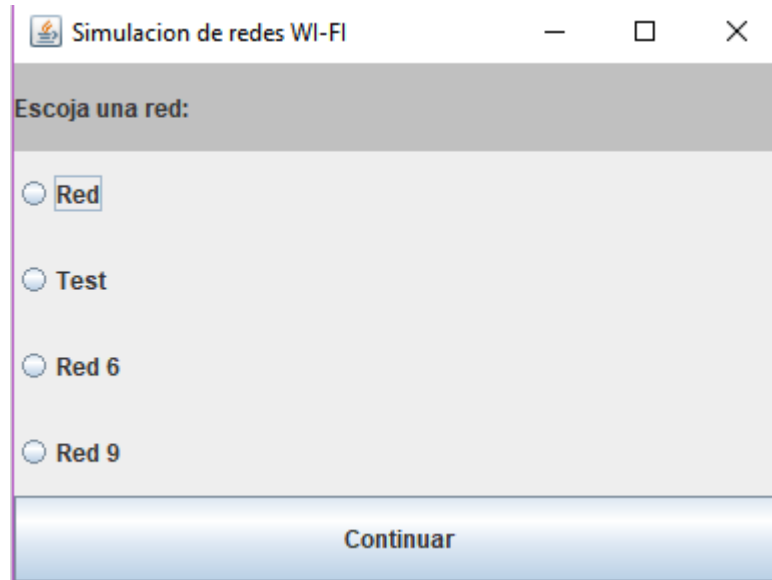


Figura 5.1: Ventana de inicio de simulación.

Luego de seleccionar el modelo de la red, se presenta el entorno donde se presentan las APs y la cobertura de su red, así como los nodos que aleatoriamente se originan en el radio de cada AP, como se muestra en la Figura 5.2.

En la ventana de simulación se puede obtener la información del AP, como su dirección, capacidad, etc, como se muestra en la Figura 5.3. También se pueden visualizar las conexiones establecidas en este AP, es decir los nodos que están conectados a la AP y sus características, (Figura 5.6), donde se observa la lista de los nodos conectados a la AP, el nodo móvil se conecta al AP que se encuentra a una menor distancia y dentro del radio de cobertura de la AP.

Así mismo, se puede apreciar gráficamente el movimiento de los nodos en la red (Figura 5.5).

Cada dispositivo en movimiento posee diferentes características, por lo que cada nodo presenta una tabla con la información necesaria que lo identifica (Figura 5.6).

Cuando se presentan los nodos *relay* se diferencia la simulación, como se muestra en Figura 5.7, donde se puede apreciar un círculo que abarca el radio de cobertura de los nodos *relay* originados en ese momento.

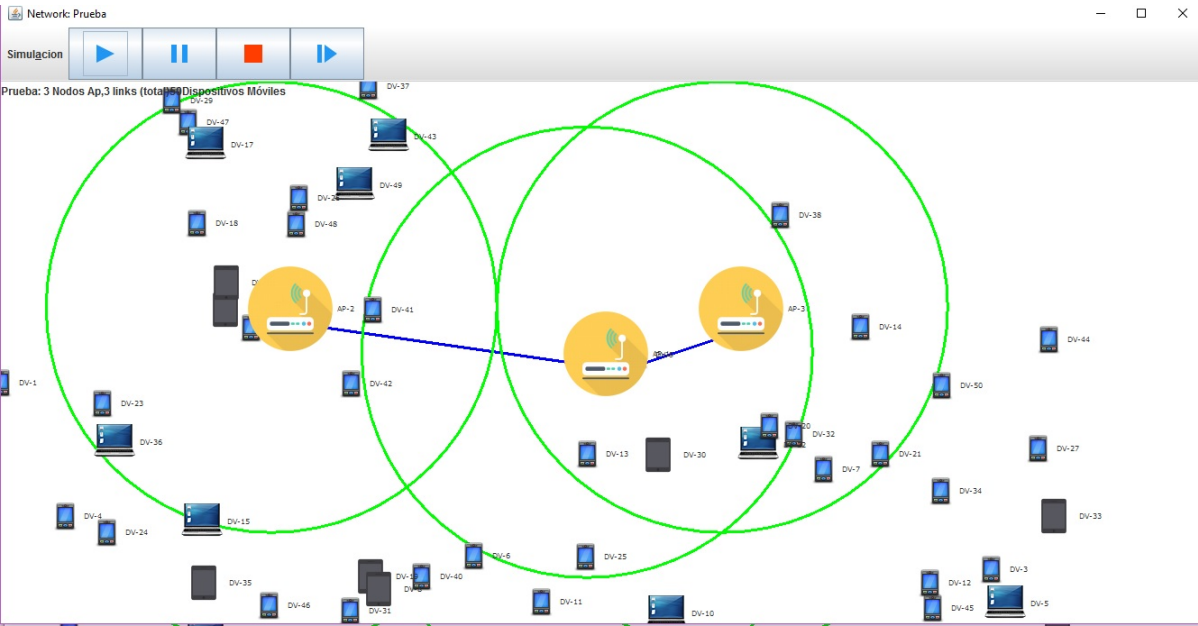


Figura 5.2: Ventana de la vista principal de la simulación.

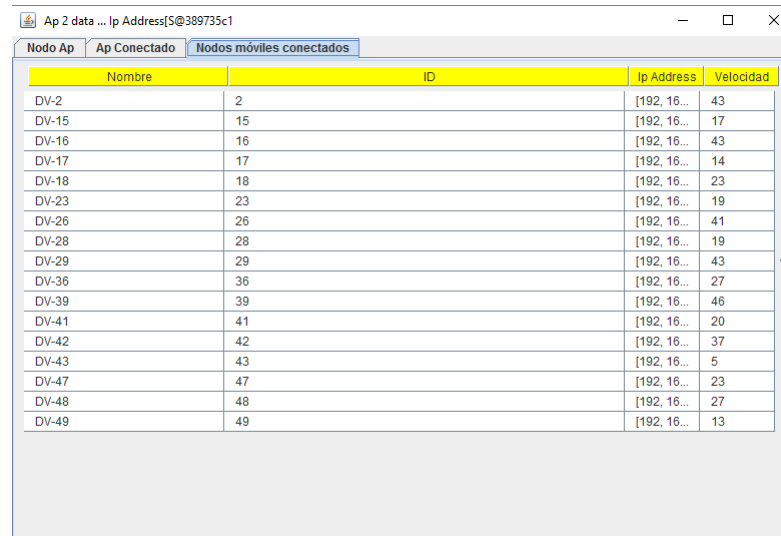
Propiedad	Valor
Access Point ID	2
Nombre	AP-2
Dirección IP	192.168.1.1.
Número de Usuarios	0
Número de Puertos	128
Número de Puertos de entrada	1
Número de Puertos de salida	1
Entradas en la tabla	100
Capacidad disponible	540

Figura 5.3: Captura de la simulación de pantalla de información general del nodo.

5.6. Resultados

El resultado esperado de esta solución, es lograr incrementar el número de usuarios, sin que se vea afectada en gran escala la capacidad de conexión libre en la red. Al incrementarse el número de usuarios no se debe disminuir abruptamente la capacidad de conexión. La forma de obtener los resultados es empleando las pruebas en los tres diferentes tipos de redes simuladas, considerando que se toman como parámetros de

5.6 Resultados



Nombre	ID	Ip Address	Velocidad
DV-2	2	[192, 16...	43
DV-15	15	[192, 16...	17
DV-16	16	[192, 16...	43
DV-17	17	[192, 16...	14
DV-18	18	[192, 16...	23
DV-23	23	[192, 16...	19
DV-26	26	[192, 16...	41
DV-28	28	[192, 16...	19
DV-29	29	[192, 16...	43
DV-36	36	[192, 16...	27
DV-39	39	[192, 16...	46
DV-41	41	[192, 16...	20
DV-42	42	[192, 16...	37
DV-43	43	[192, 16...	5
DV-47	47	[192, 16...	23
DV-48	48	[192, 16...	27
DV-49	49	[192, 16...	13

Figura 5.4: Captura de la simulación de los nodos conectados a una AP.

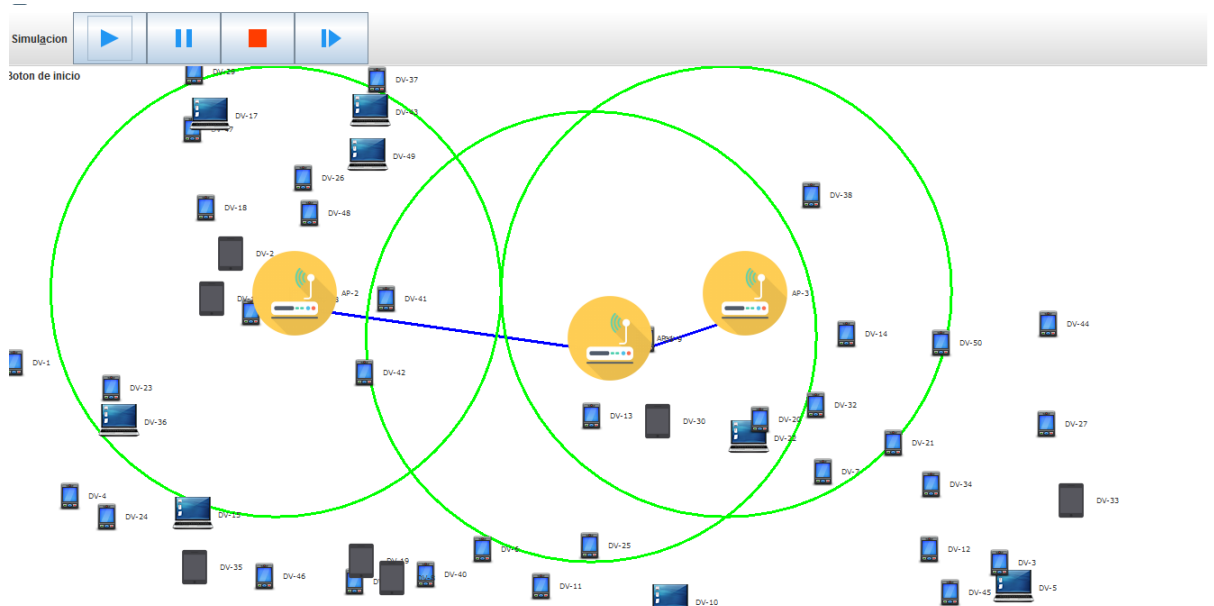


Figura 5.5: Captura de la ventana que muestra los dispositivos en movimiento.

medición el número de nodos conectados y el uso del ancho de banda en la red. Se realizaron varias simulaciones de cada modelo de red, que al ser promediadas dieron los siguientes resultados bajo las diferentes condiciones de simulación.

Dv 49 data ... Ip Address[S@2d36639e]

Dispositivo Móvil

Propiedad	Valor
Id de Usuario	49
Nombre	DV-49
Tipo	pc
Dirección Ip	192.168.1.48.
Movilidad	243
Velocidad	13 Kbps

Figura 5.6: Captura de la ventana con la información del nodo móvil.

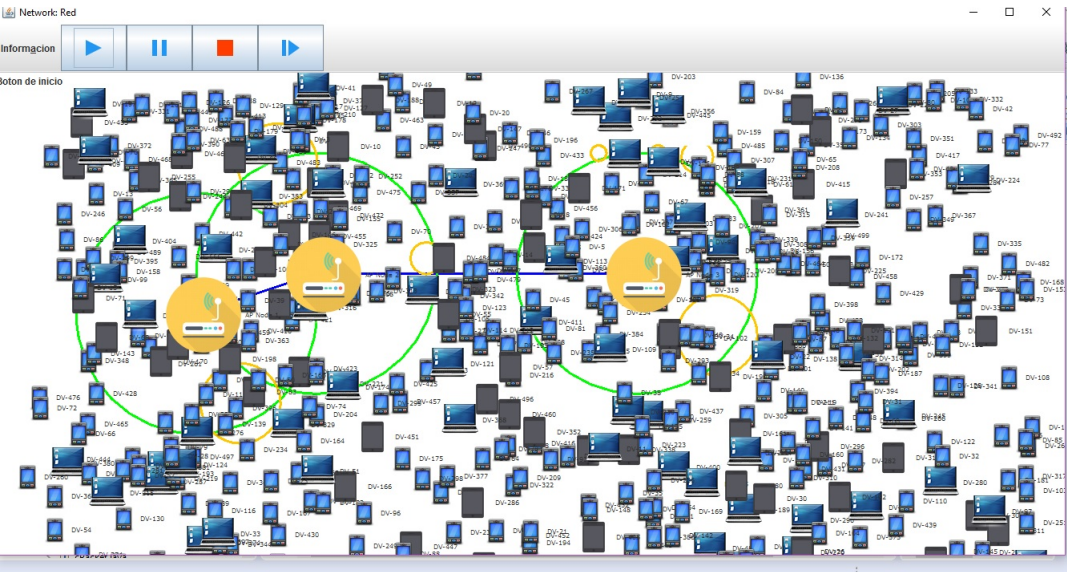


Figura 5.7: Red saturada con nodos Relay.

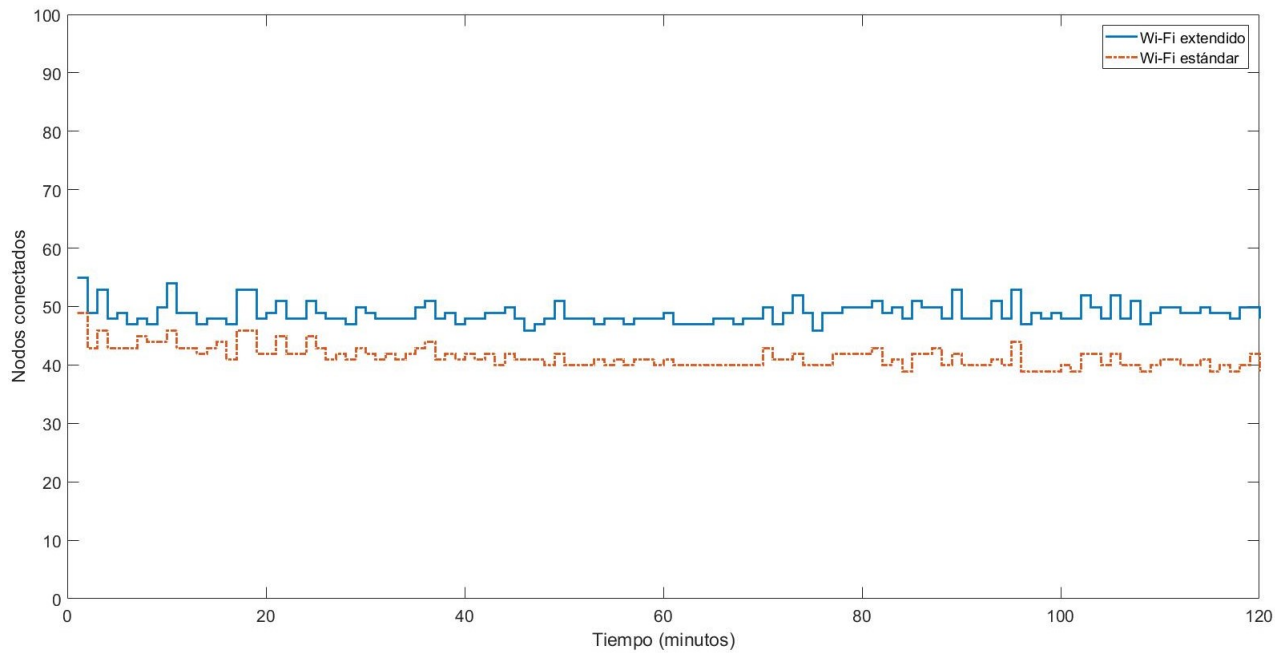
5.6.1. Resultados en una red de tres Access Points

Esta red (Figura 5.7), una red con tres Access Points, con tres celdas de un diámetro de 200 metros, cada una con capacidad de atención de 50 usuarios. Los parámetros de la red, se muestran en Tabla 5.1.

Los resultados obtenidos según el primer parámetro (número de nodos conectados en la red), son los que se muestran en la Figura 5.8 y la Figura 5.9, donde se compara el número de nodos conectados con el protocolo Wi-Fi extendido (nuestra propuesta) y estándar.

Tomando en cuenta el ancho de banda consumido por la red, se calcula el aprove-

	Red de 3 APs
Celdas	3
Número de nodos simulados en la red	300
Capacidad máxima de nodos conectados en la red	150
Capacidad de ancho de banda por celda	25 Mb
Capacidad de nodos atendidos por celda	50

Cuadro 5.1: Parámetros de simulación de una Red de 3 APs.**Figura 5.8:** Resultado del número de nodos conectados en la red de 3 APs.

chamamiento del uso del ancho de banda mediante el porcentaje del uso de la red (ver Figura 5.10). Se puede apreciar como varía el aprovechamiento de la red en el tiempo en la Figura 5.11 se puede apreciar la comparación del uso de la red con Wi-Fi estándar y con Wi-Fi extendido.

Así mismo, se observa la diferencia que existe cuando se emplea el protocolo extendido en el número de nodos conectados que se incrementan en la red (como se muestra en Figura 5.12), también en el incremento del uso del ancho de banda en la red (como se muestra en Figura 5.13) y en la Figura 5.14 podemos observar el porcentaje que se incrementa con la participación de *Nodos Relay* (Wi-Fi extendido).

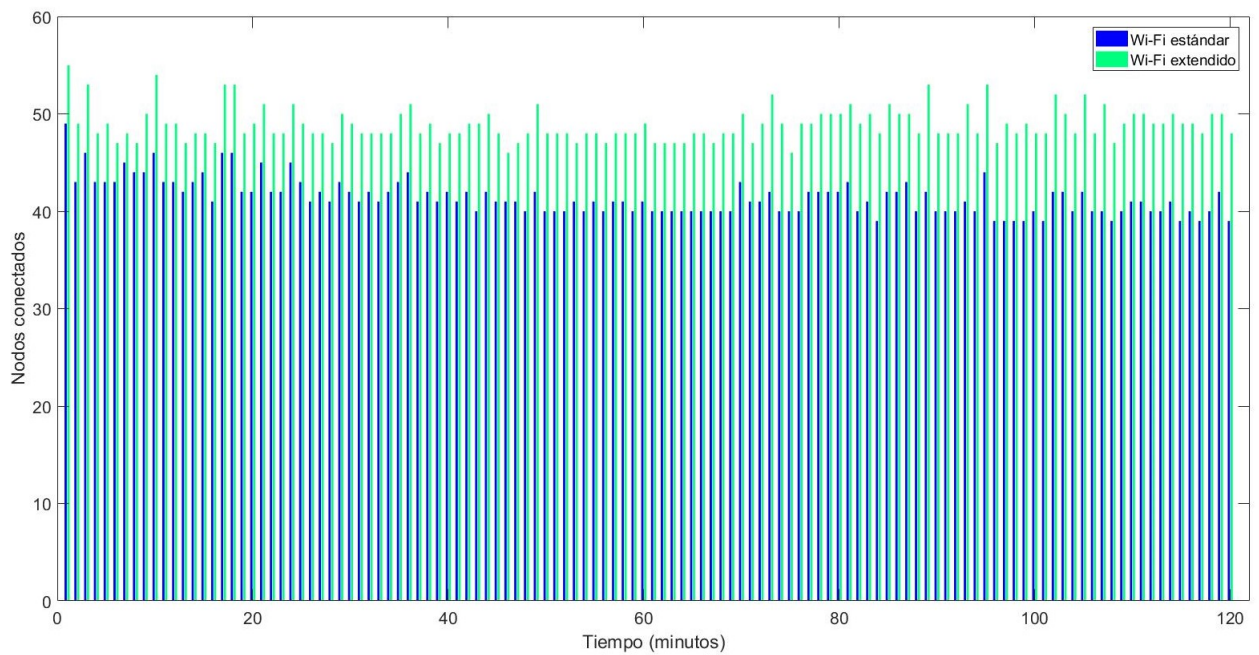


Figura 5.9: Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 3 APs.

5.6.2. Resultados con red de seis Access Points

Esta red se muestra en la Figura 5.15, con seis Access Points, con seis celdas de un diámetro de 200 metros, con capacidad de atención de 50 usuarios, los parámetros de la red, se muestran en Tabla 5.2.

	Red de seis APs
Celdas	6
Número de nodos simulados en la red	600
Capacidad máxima de nodos conectados en la red	300
Capacidad de ancho de banda por celda	25 Mb
Capacidad de nodos atendidos por celda	50

Cuadro 5.2: Parámetros de simulación de una red de 6 APs.

Los resultados obtenidos según el parámetro del número de nodos conectados en la red, son las que se muestran en la Figura 5.16 y Figura 5.17, donde se puede apreciar la comparación del número de nodos conectados con el protocolo Wi-Fi extendido y Wi-Fi estándar.

Así mismo, tomando en cuenta el ancho de banda consumido por la red, se calcula el

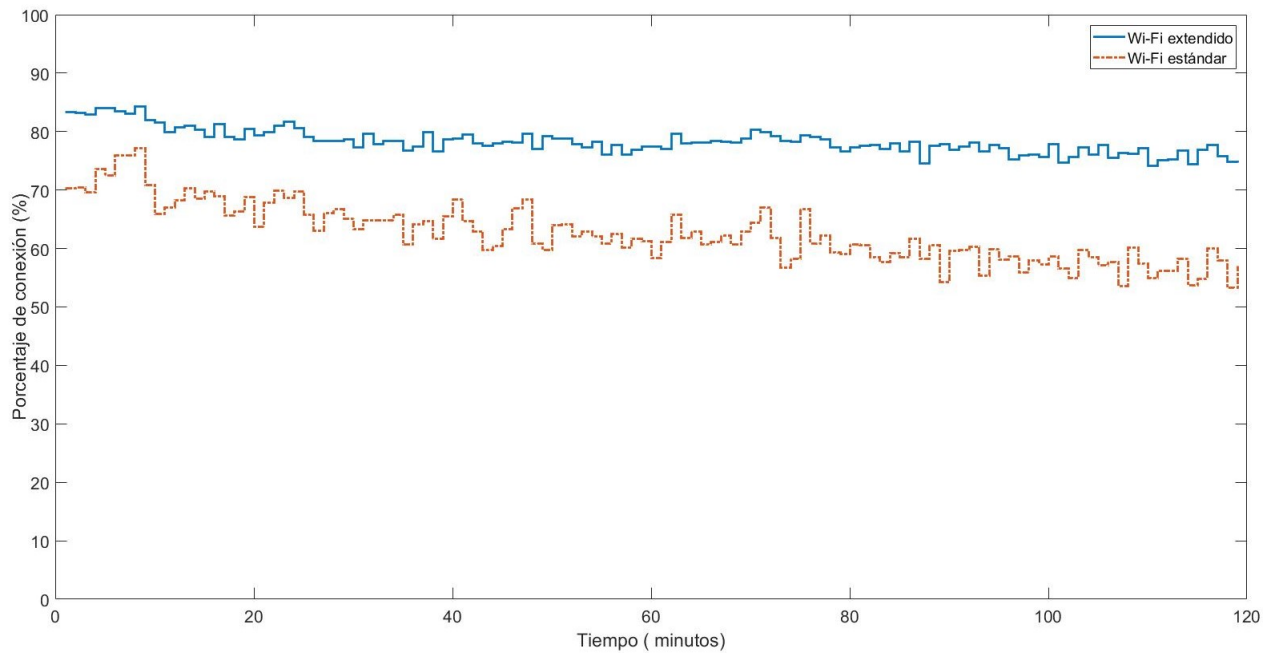


Figura 5.10: Porcentaje de nodos conectados en función del tiempo en una red de 3 APs.

aprovechamiento de uso del ancho de banda en la red, calculando el porcentaje del uso de la red, como se muestra en la Figura 5.18. Se puede apreciar como varía el aprovechamiento de la red en el tiempo. En la Figura 5.19, se tiene la comparación del uso de la red con Wi-Fi estándar y el Wi-Fi extendido.

También, se observa la diferencia que existe cuando se emplea el protocolo extendido respecto al número de nodos conectados a la red (Figura 5.20), también respecto al incremento del uso del ancho de banda en la red, como se muestra en la Figura 5.21 y en la Figura 5.22 podemos observar el porcentaje que se incrementa con la participación de *Nodos Relay* (Wi-Fi extendido).

5.6.3. Resultados de red de nueve Access Points

En esta red con 9 APs se muestra en la Figura 5.23, que son nueve celdas de un diámetro de 200 metros, con una capacidad de atención de 50 usuarios. Los parámetros de la red se muestran en la Tabla 5.3.

Los resultados obtenidos según el primer parámetro (número de nodos conectados a la red), son los que se muestran en la Figura 5.24 y Figura 5.25, donde se observa la comparación entre el protocolo Wi-Fi extendido y el Wi-Fi estándar.

Asímismo, tomando en cuenta el ancho de banda consumido por la red, se calcula

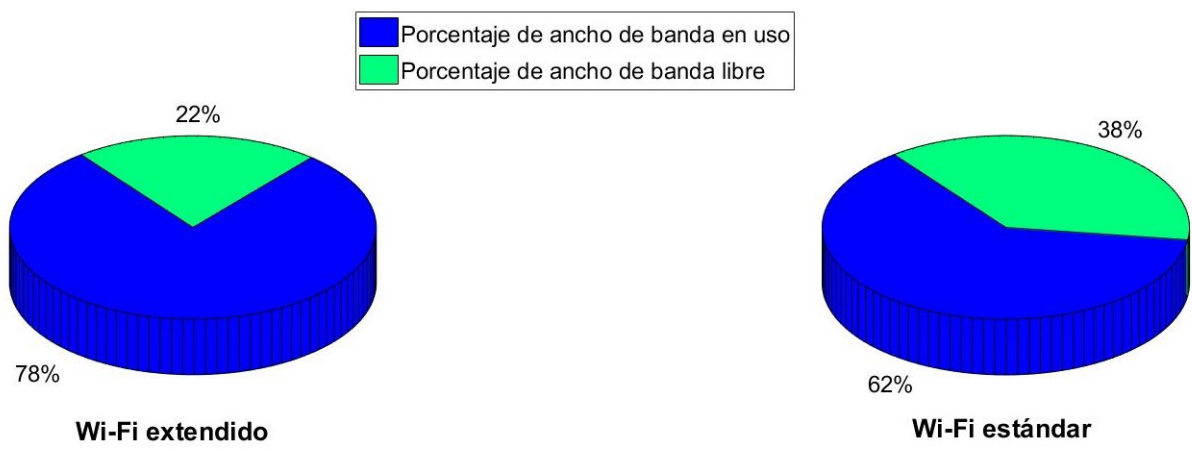


Figura 5.11: Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar en una red de 3 APs.

	Red de nueve APs
Celdas	9
Número de nodos simulaados en la red	900
Capacidad máxima de nodos conectados a la red	450
Capacidad de ancho de banda por celda	25 Mb
Capacidad de nodos atendidos por celda	50

Cuadro 5.3: Parámetros de simulación de una red de 9 APs.

el aprovechamiento del uso del ancho de banda en la red, calculando el porcentaje del uso de la red (Figura 5.26). Se puede apreciar como varía el aprovechamiento de la red en el tiempo. En la Figura 5.27, se aprecia la comparación del uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar.

También, se observa la diferencia que existe cuando se emplea el protocolo extendido respecto al número de nodos conectados en la red, como se muestra en la Figura 5.28, también respecto al incremento del uso del ancho de banda en la red, como se muestra en la Figura 5.29 y en la Figura 5.30 se observa el porcentaje de uso de ancho de banda que se incrementa con el uso de Nodos Relay en Wi-Fi extendido.

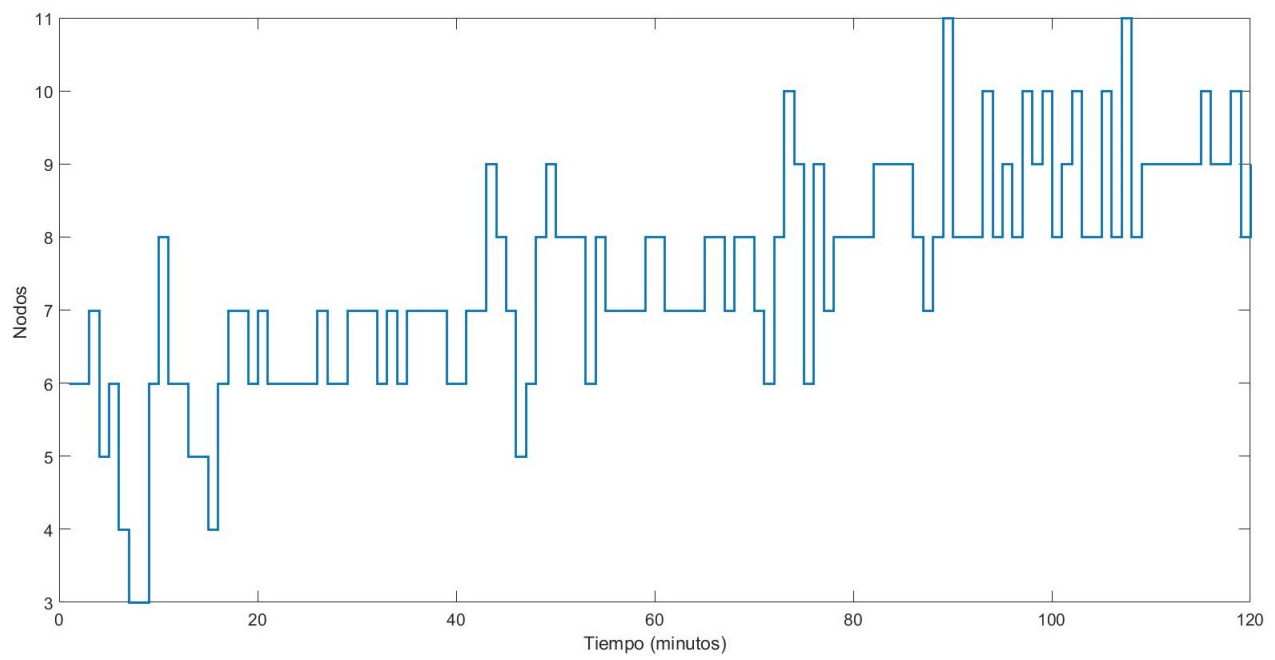


Figura 5.12: Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una red de 3 APs.

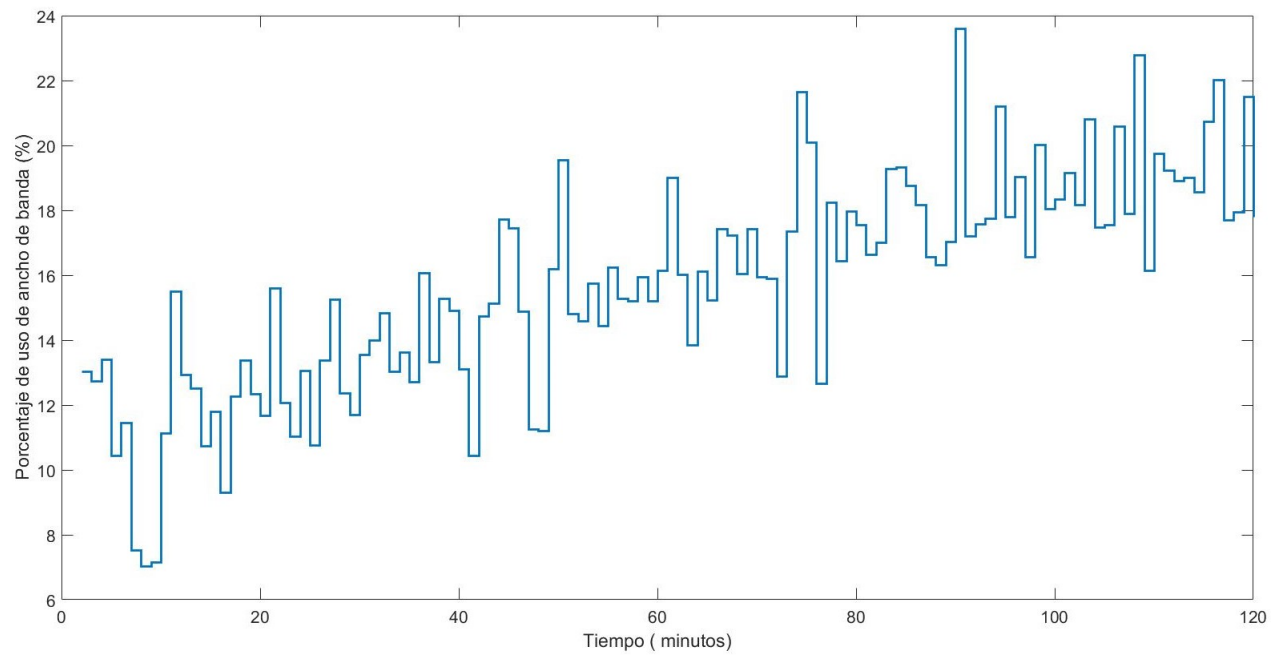


Figura 5.13: Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una red de 3 APs.

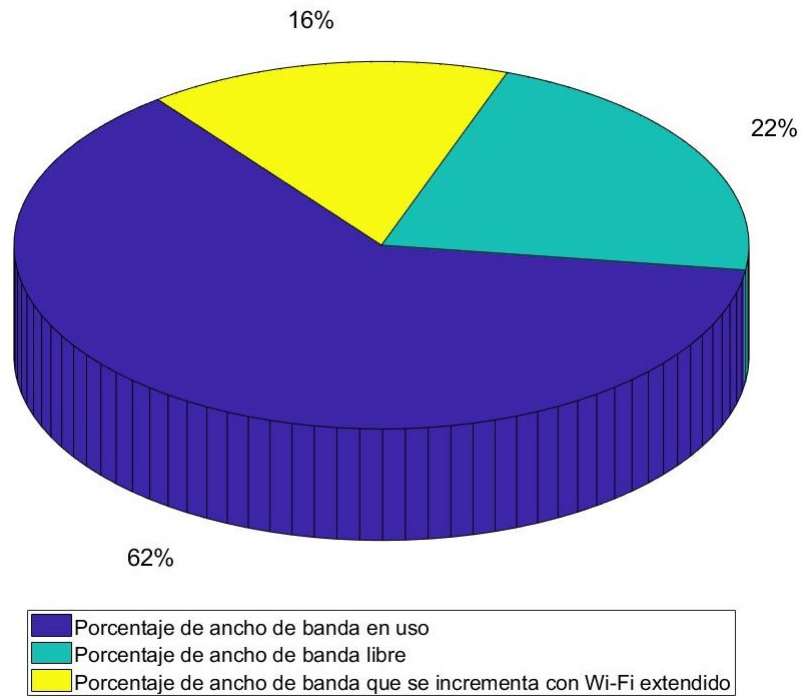


Figura 5.14: Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 3 APs.

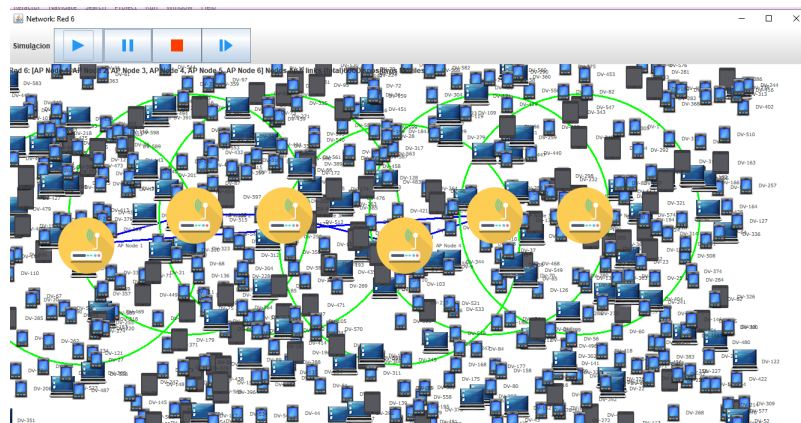


Figura 5.15: Simulación planteada con una red de 6 APs.

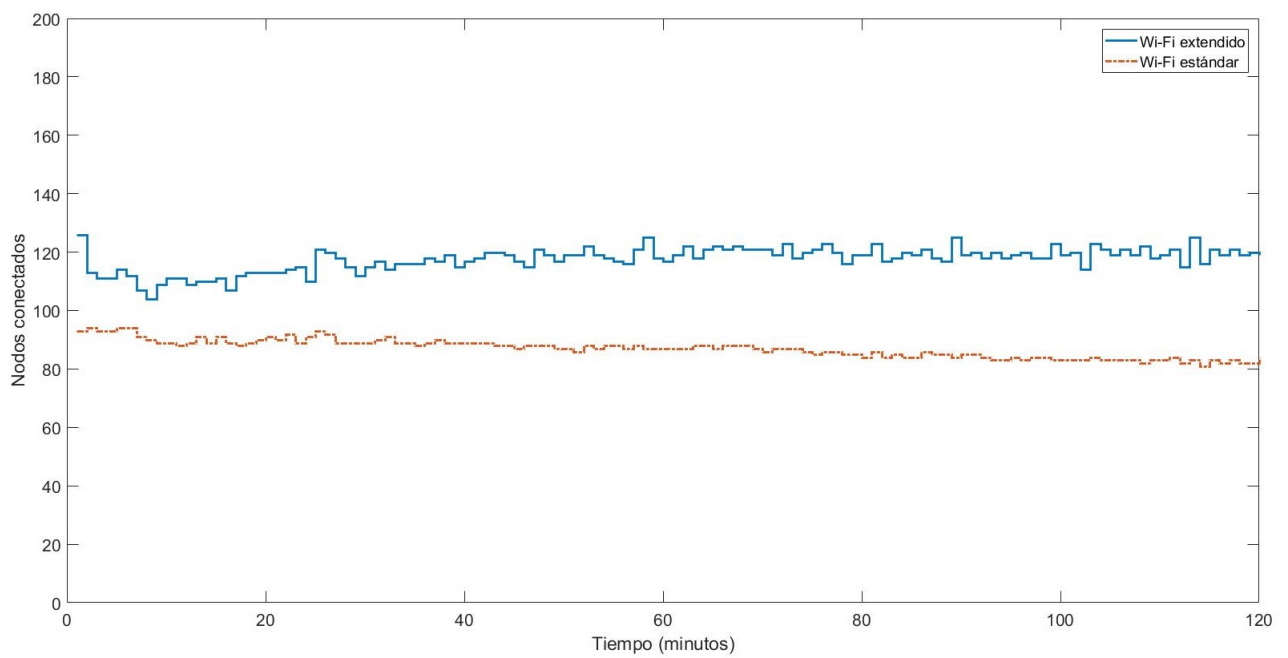


Figura 5.16: Resultado de nodos conectados en una red de 6 APs.

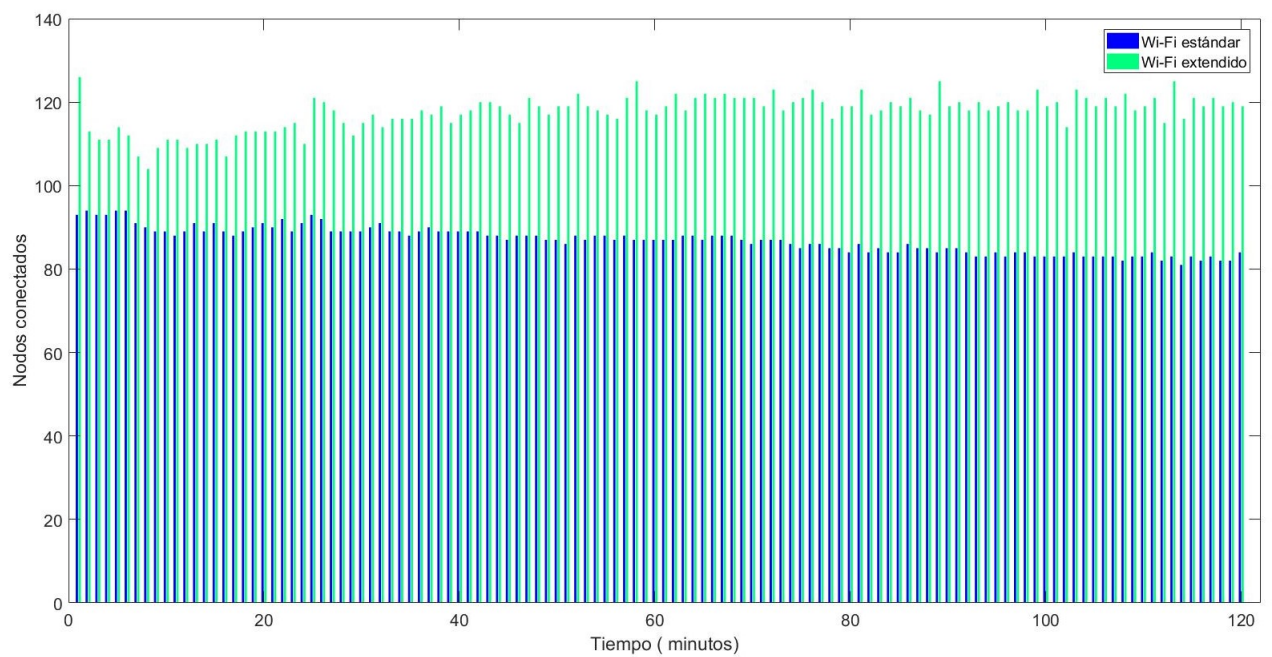


Figura 5.17: Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 6 APs.

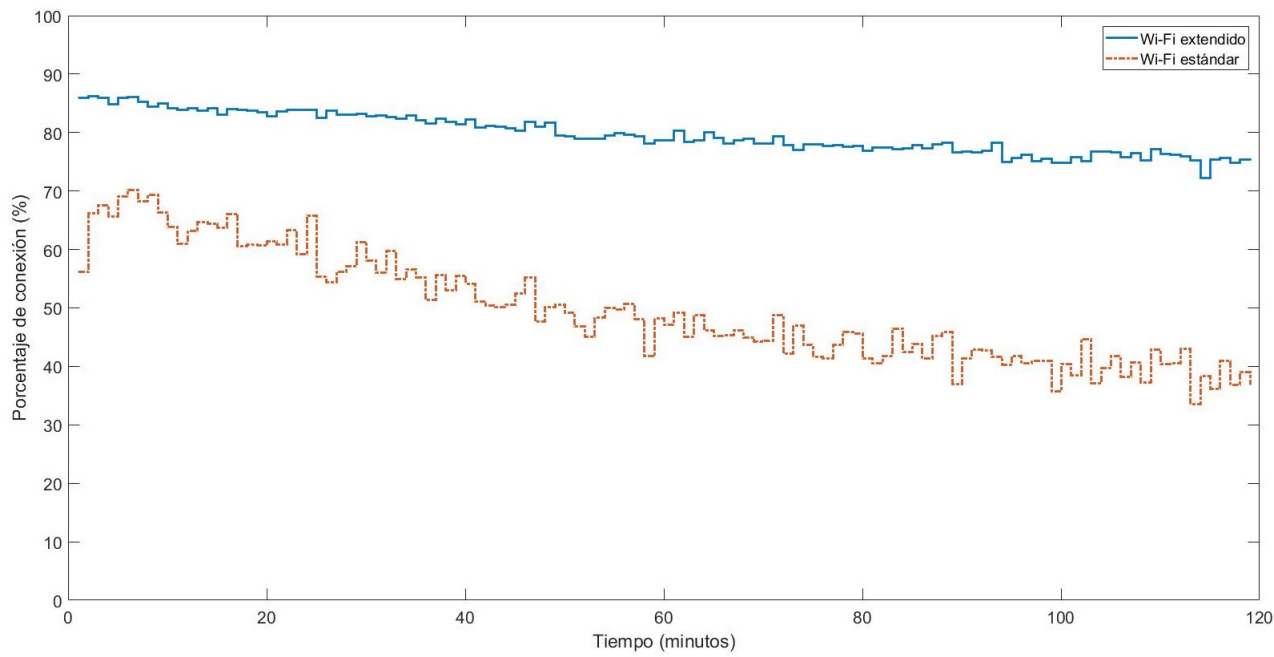
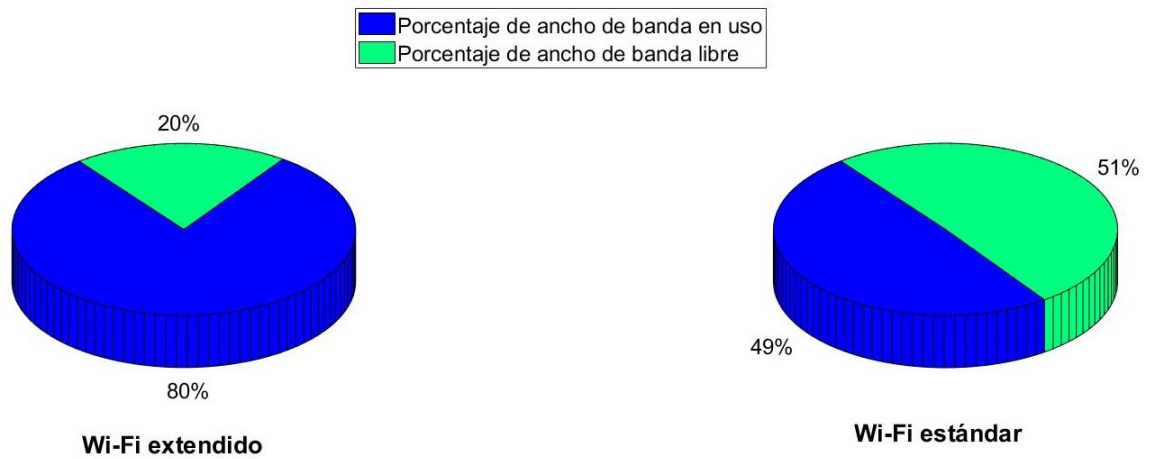


Figura 5.18: Porcentaje de uso del ancho de banda según el tiempo, en una red de 6 APs..



0

Figura 5.19: Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar, en una red de 6 APs.

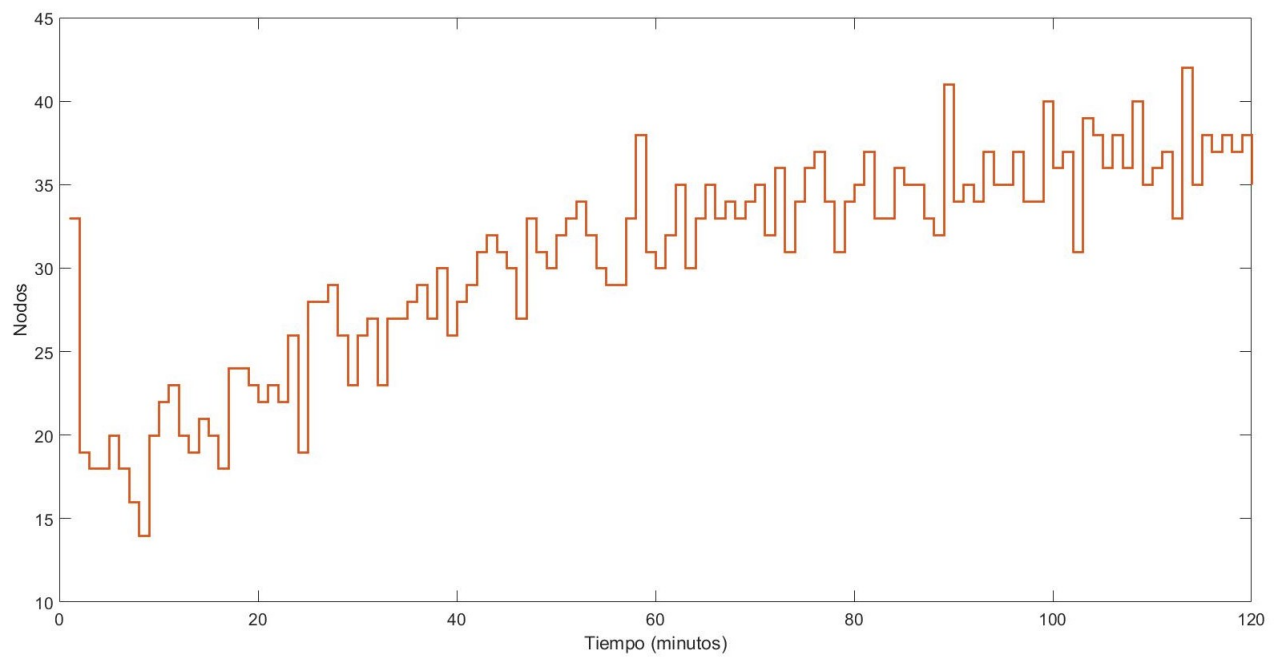


Figura 5.20: Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una red de 6 APs.

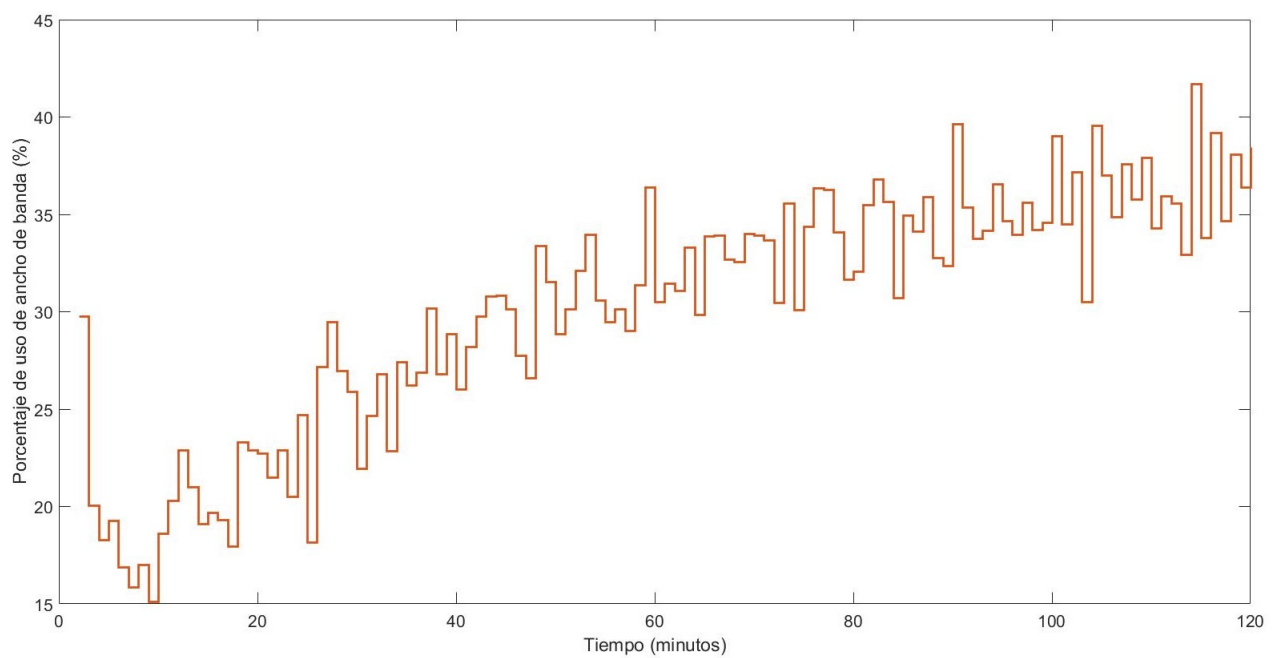


Figura 5.21: Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una red de 6 APs.

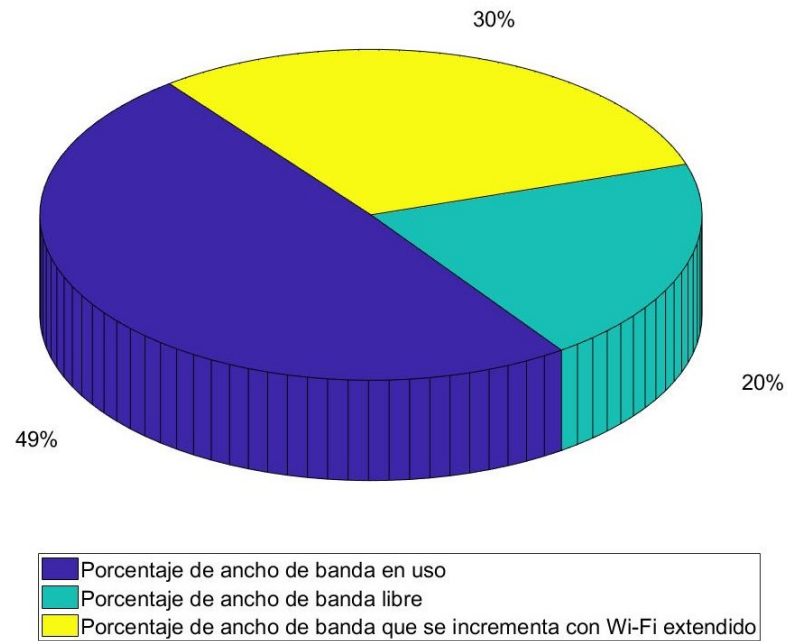


Figura 5.22: Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 6 APs.

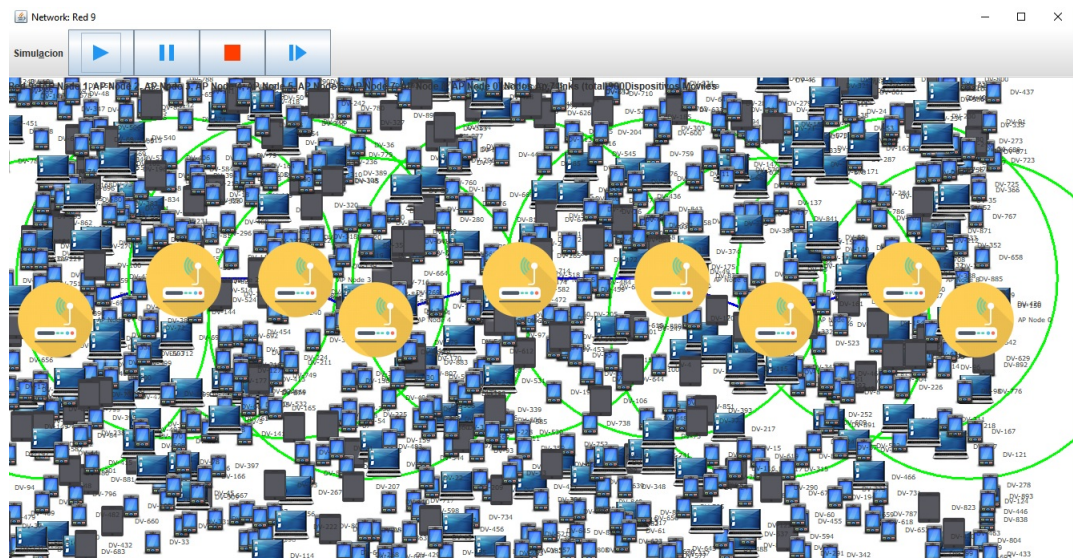


Figura 5.23: Simulación con red saturada de 9 APs.

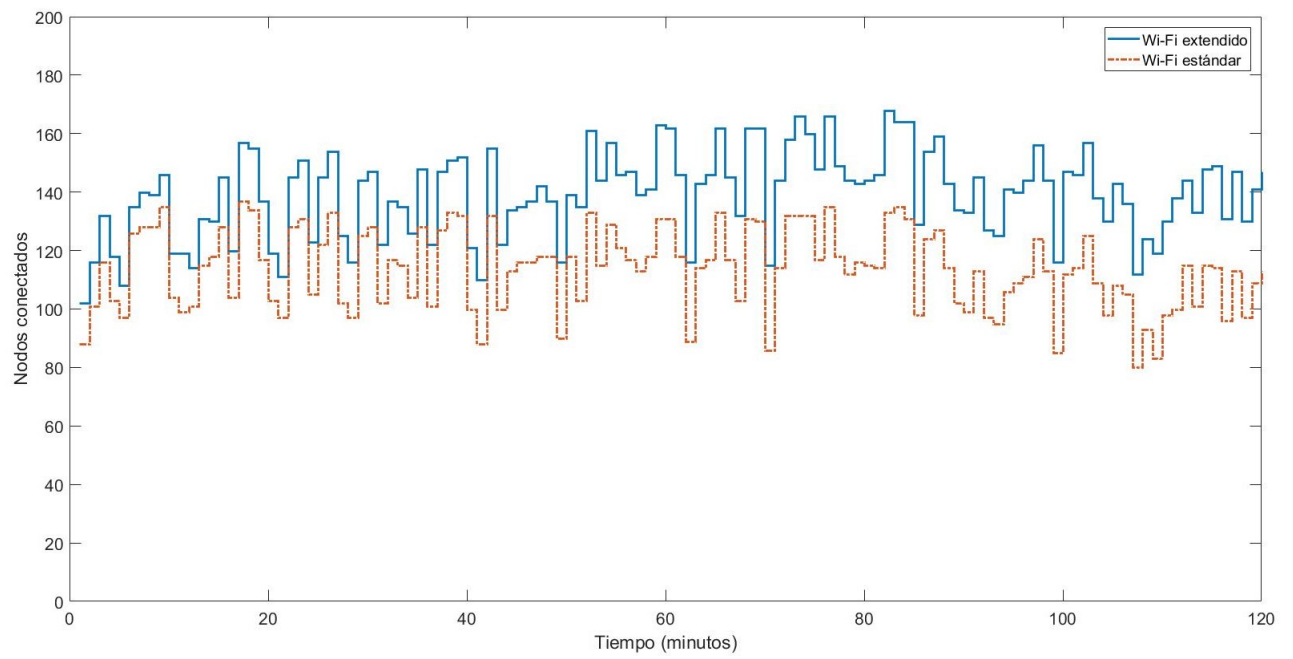


Figura 5.24: Resultado del número de nodos conectados en función del tiempo en una red de 9 APs.

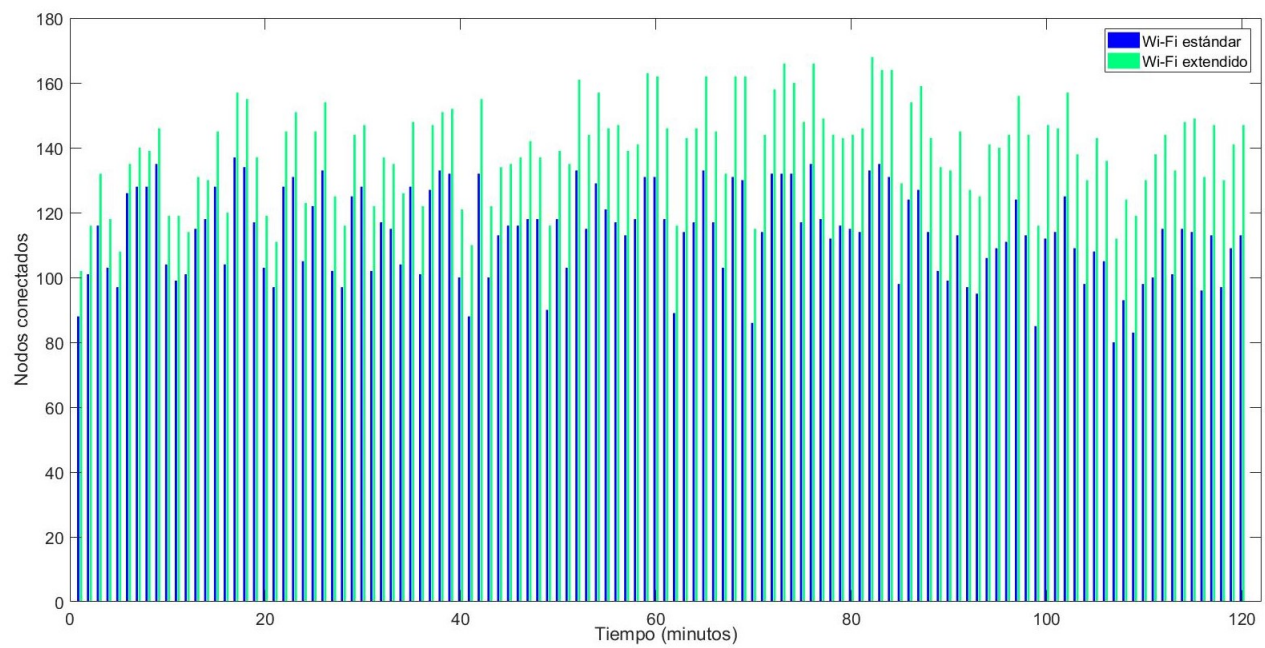


Figura 5.25: Gráfico de barras que compara el alcance del número de nodos conectado con Wi-Fi estándar y Wi-Fi extendido (nuestra propuesta), en una red de 9 APs.

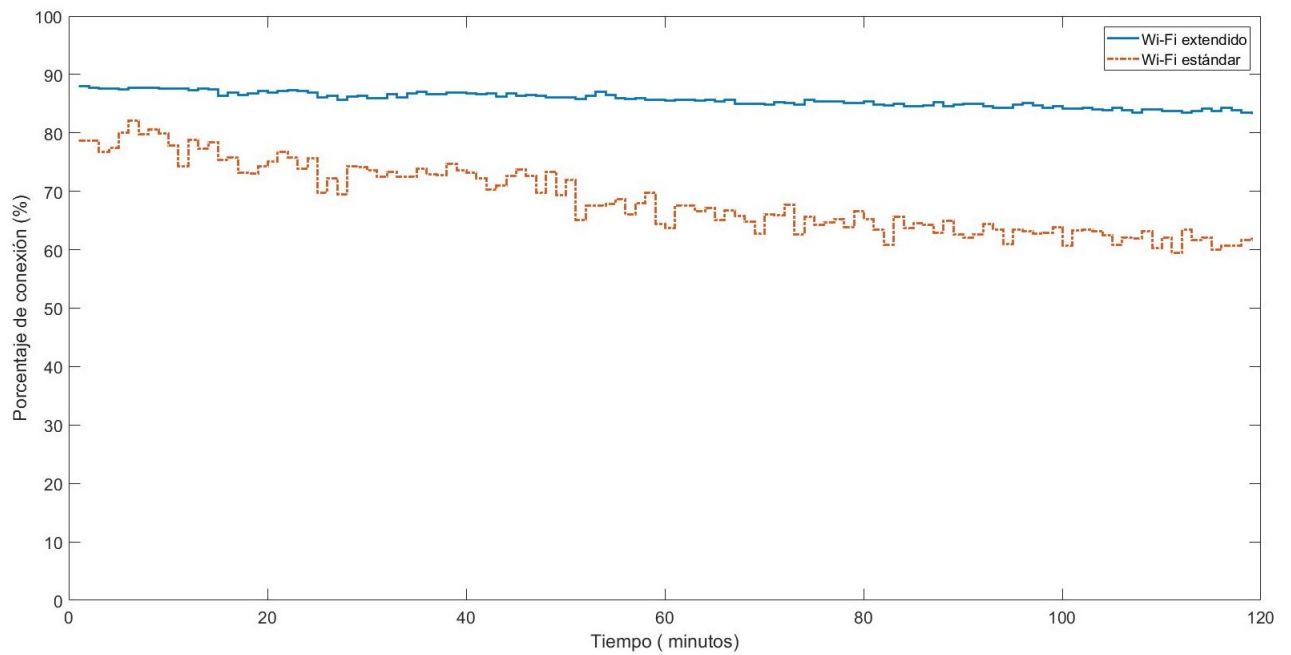


Figura 5.26: Porcentaje de uso del ancho de banda en la red en función del tiempo en una red de 9 APs.

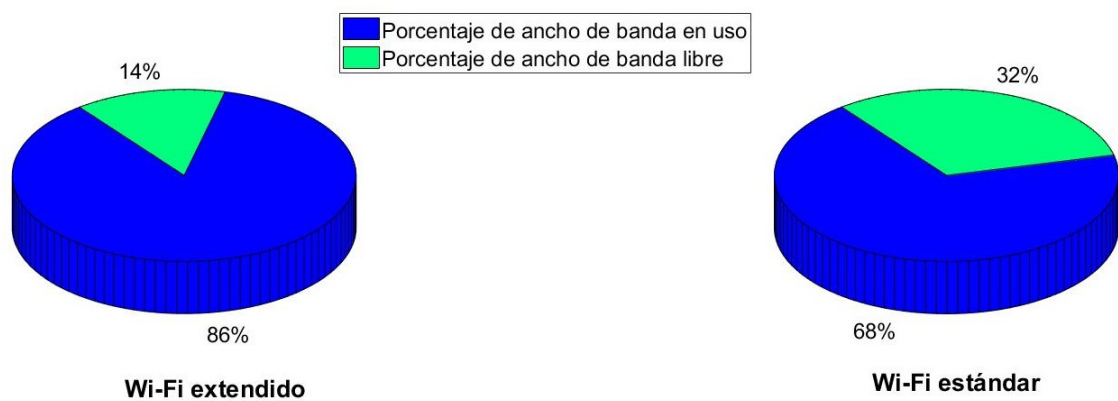


Figura 5.27: Porcentaje de uso de la red con Wi-Fi extendido y con Wi-Fi estándar, en una red de 9 APs.

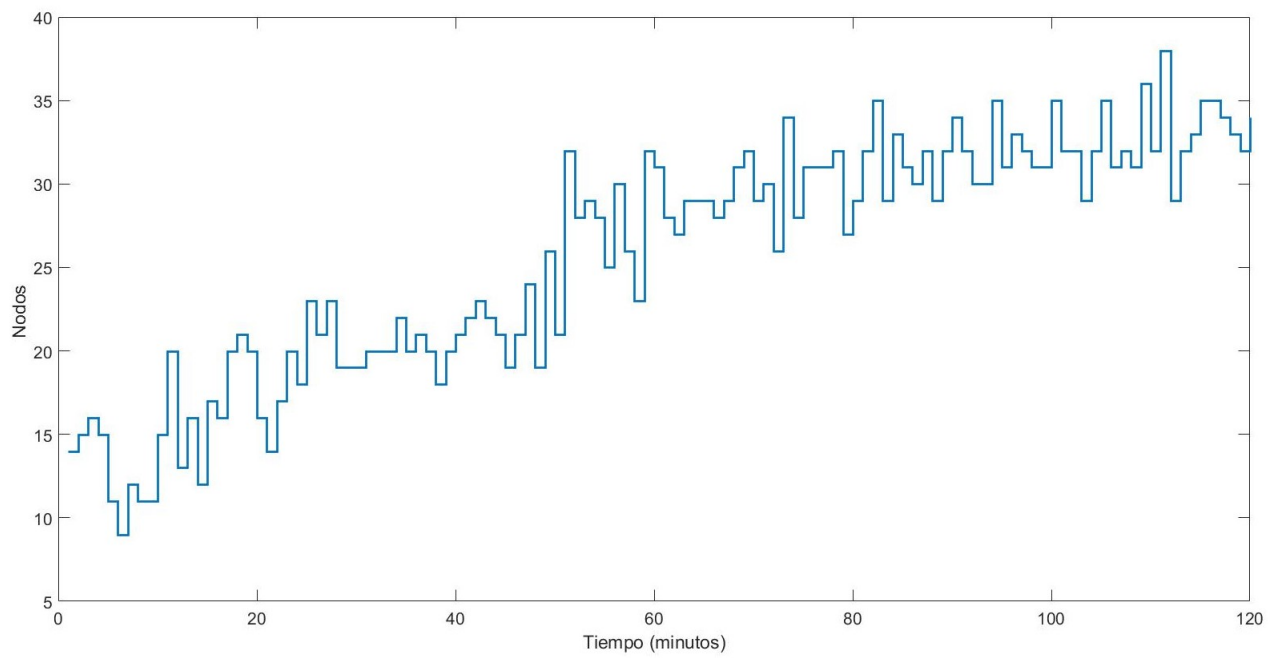


Figura 5.28: Nodos que se incrementan al emplear Wi-Fi extendido en el tiempo en una Red de 9 APs.

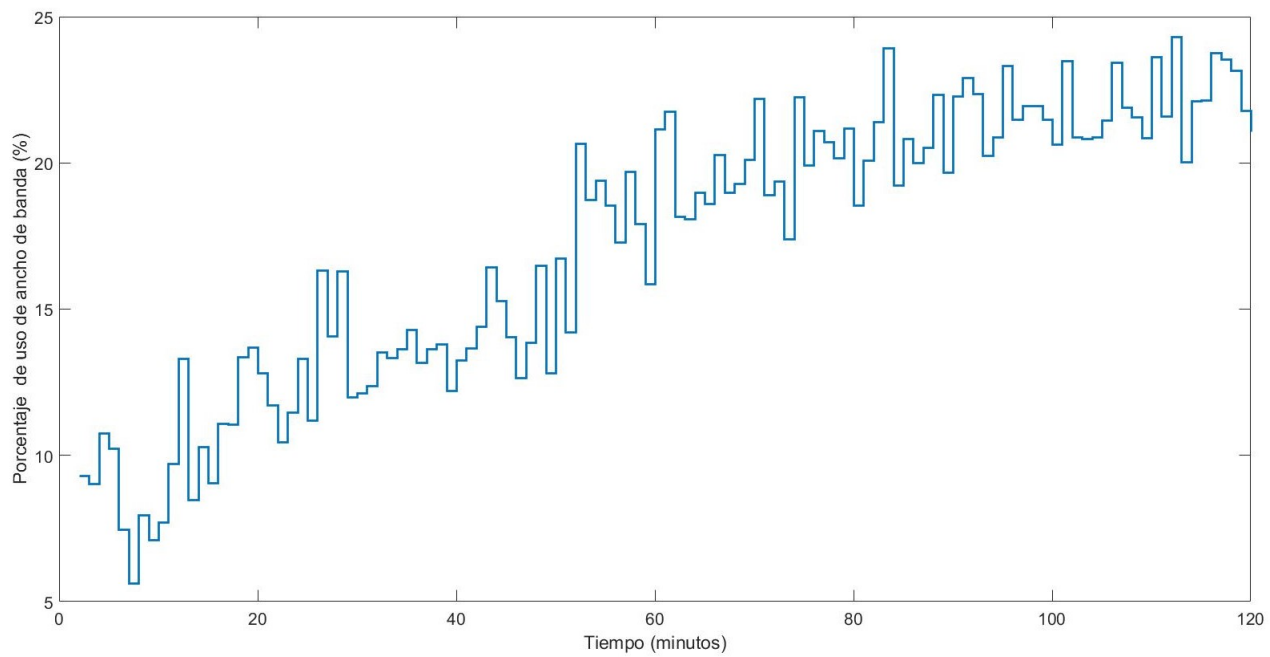


Figura 5.29: Incremento del porcentaje del uso de ancho de banda en el tiempo en una Red de 9 APs.

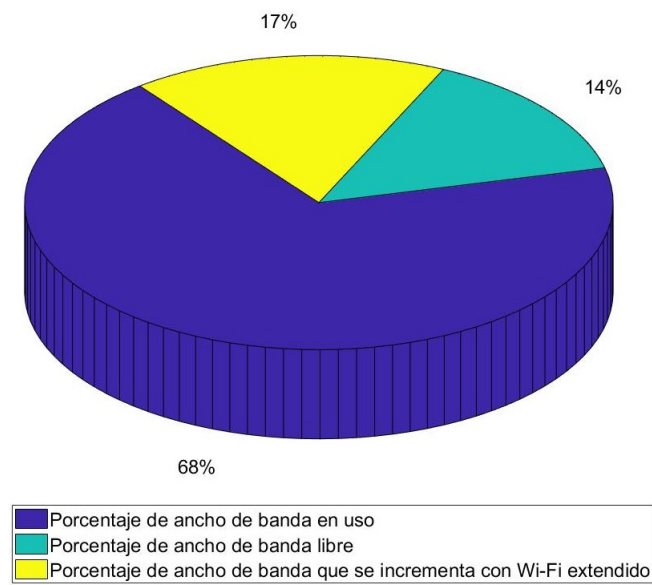


Figura 5.30: Porcentaje de ancho de banda en uso que se incrementa con la propuesta (Wi-Fi extendido) en una red de 9 APs.

6 Conclusiones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

- El gran crecimiento de las redes inalámbricas de uso público genera la necesidad de implementar nuevas soluciones que nos permitan hacer más eficiente el uso y gestión del protocolo IEEE 802.11, buscando mejoras que se adapten a la nueva forma y necesidades de los usuarios actuales.
- Mediante la extensión del protocolo Wi-Fi, desarrollada en este trabajo, se ha demostrado que es posible aprovechar el ancho de banda no usado en los puntos de acceso, con el fin de proveer de conectividad a terminales que están fuera de cobertura. También es posible proveer de esta conectividad a terminales que, estando dentro del área de cobertura de un AP, no cuentan con conectividad debido a que el AP carece de capacidad de conexión debido a la gestión que se realiza en la red, como se muestra en la Figura 5.7.
- Al conocer a profundidad el modo de funcionamiento PCF existente en las redes Wi-Fi, es posible mediante nuevas tecnologías implementar propuestas que nos permitan ampliar el concepto y mejorar la dinámica de la red logrando así la implementación de una nueva estrategia que permita ampliar la cobertura de las celdas en la red, asignando un tiempo determinado a cada uno de los nodos conectados a la red, de forma que los nodos relay retransmitan los paquetes de los nodos que desean conectarse a la red.
- Según el modo de funcionamiento PCF, se toma como referencia para realizar la división y asignación de tiempos a cada usuario de la red, estableciendo una modificación dinámica que permite a usuarios que están fuera del área de cobertura, tener acceso a la red.
- De acuerdo a los resultados, se ha podido observar lo siguiente:
 - En el modo Wi-Fi regular, a mayor número de dispositivos conectados en la red se da una mayor fluctuación en el porcentaje de la conexión de la red que varía de entre 40 a 80 % .Esto mejora significativamente con la implementación de la extensión del protocolo Wi-Fi propuesto aquí, en cuanto al uso de la red, sobretodo en una configuración de red con un mayor número de puntos de acceso, manteniendo una capacidad constante de conexión a lo largo del tiempo en la red, que produce una mejora de entre el 8 al 42 % , dependiendo del caso y del escenario de cada red. Como se muestra en la sección Sección 5.6, en las Figura 5.8, Figura 5.16

y Figura 5.24 donde se observa cómo se incrementa el porcentaje de uso de ancho de banda en cada caso.

- Las redes densas con el protocolo Wi-Fi tienen un rango de conectividad variable, que normalmente cuando existe un mayor número de usuarios va decreciendo hasta un 38 % como punto mínimo en el porcentaje del uso del ancho de banda, mientras que aplicando la extensión que plantea la propuesta, se puede observar como se mejora en promedio un 25 % el porcentaje del uso del ancho de banda de la red, teniendo como mínimo una mejora del 8 %, que se muestra en la Sección 5.6. específicamente en las Figura 5.10, Figura 5.10, Figura 5.27.
- El número de usuarios conectados en la red, se incrementa aproximadamente entre un 4,5 a 15 % , dependiendo del número de usuarios en la red empleando la extensión del protocolo, debido a que, se extiende la cobertura de cada celda Ap, incrementando la cobertura extendiéndola a los usuarios que se encuentran fuera de la celda. Se incrementa como mínimo la conexión de 10 usuarios más de los que se conectan en una red sin extensión. Como se observa en la Sección 5.6, en las Figura 5.13, Figura 5.21 y Figura 5.29.
- El número de nodos conectados a la red, que se incrementan es mayor mientras exista mayor capacidad de uso de ancho de banda libre, que varía en un promedio de 10 a 43 usuarios atendidos por nodos Relay, implementando el protocolo de extensión, como se observa en la Sección 5.6, en las Figura 5.28, Figura 5.20 y Figura 5.12.
- El mejor escenario para se produzca un nodo Relay, se da cuando el usuario sin conexión se encuentra en un radio de cobertura en el que un usuario conectado directamente a la red, puede servir de nodo Relay a un usuario sin conexión.
- Se puede producir un escenario en el que dos nodos se conectan a un nodo Relay, realizando una pequeña subred, que permite el intercambio de paquetes entre los dispositivos desconectados y la red.

6.2. Trabajos futuros

- Esta solución podría ser implementada en sistemas de open hardware o routers programables, implementándolo en un entorno de red pública real y empleando usuarios y dispositivos reales, para así obtener una aproximación con datos reales del funcionamiento de esta extensión del protocolo Wi-Fi. Este tipo de tecnología debe ser implementado en los APs y las infraestructuras de red, más no en los usuarios que cuentan con las mejoras necesarias mencionadas en la Sección 3.3 en las capas físicas y de acceso al medio para soportar el despliegue de estas tecnologías.

- Es posible considerar implementar una mejora de la extensión del protocolo Wi-Fi implementando una posibilidad de realizar una mejora en cascada, es decir que un nodo sirva como nodo Relay en la red y a su vez este nodo fuera del área de cobertura incluido en la red pueda servir de nodo Relay a otro nodo externo y así sucesivamente, estableciendo un esquema coordinado de tiempos de transmisión y recepción, ampliando el área de cobertura en una mayor, considerando una sucesión de nodos Relay en forma de cascada.
- En un trabajo futuro, sería posible extender este trabajo y otras extensiones de Wi-Fi a sistemas que trabajan conjuntamente con la red móvil celular, como se muestra en [18], implementando un intercambio entre ambos tipos de tecnologías, para tener una mayor cobertura de red y mantener a los usuarios conectados la mayor parte del tiempo.
- Esta propuesta se podría emplear en otro tipo de protocolos que permitan desarrollar un control jerárquico, como en los protocolos que permitan ampliar el rango de los usuarios conectados, permitiendo conexiones de dispositivo a dispositivo, como se presenta en [22], se puede realizar una mejora a la propuesta involucrando las tecnologías de dispositivo a dispositivo, para tener una mejor estrategia de intercambio de paquetes.

Bibliografía

- [1] J. F. Kurose and K. W. Ross, *Computer Networking: A top down approach*, J. F. Kurose, Ed. Pearson, 2013.
- [2] N. C. K. R. M. A. T. G. Hassan Aboubakr Omar, Khagide Abboud and W. Zhuang, "A survey on high efficiency wireless local area networks: Next generation wifi," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016.
- [3] B. O. Khurram Shahzad, "A comparative study of in-sensor processing vs. raw data transmission using zigbee, ble and wi-fi for data intensive monitoring applications," *IEEE*, 2014.
- [4] T. W. K. B. Jingzhi Hu, Boya Di and L. Song, "Hybrid mac protocol for full duplex wi-fi networks," *IEEE*, 2017.
- [5] K. A. Magade and P. Patankar, "Techniques for load balancing in wireless lan's," *International Conference on Communication and Signal Processing*, 2014.
- [6] L. S. Y. Z. X. P. C. B. W. Guido R. Hiertz, Dee Denteneer, "The ieee 802.11 universe," *IEEE Communications Magazine*, 2010.
- [7] O. Bejarano and E. W. Knightly, "Ieee 802.11ac: From channelization to multi-user mimo," *IEEE Communications Magazine*, 2013.
- [8] D. J. W. Andrew S. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, L. M. Castillo, Ed. Pearson, 2012.
- [9] Y.-W. S. Jin-Shyan Lee and C.-C. Shen, "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi." *The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2007.
- [10] L. F. X. W. Xiaoying Gan, Zhida Qin, "Unraveling the impact of users' interest on information dissemination in wireless networks," *IEEE Access*, 2018.
- [11] Y. O. Zemre Arslan, Muge Erel and B. Canberk, "Sdoff: a software-defined offloading controller for heterogeneous networks," *IEEE WCNC'14*, 2014.
- [12] W. G. Haijun Zhang, Xiaoli Chu and S. Wang, "Coexistence of wi-fi and heterogeneous small cell networks sharing unlicensed spectrum," *IEEE Communications Magazine*, 2015.
- [13] A. A. T. O. J. S. Jukka-Pekka Laulajainen and M. Du, "Study of youtube demand patterns in mixed public and campus wifi network," *IEEE*, 2014.

-
- [14] S. O. Jr., “802.11n: The road ahead,” *IEEE Computer Magazine*, 2009.
 - [15] E. Au, “Exciting projects for phy and mac layers of ieee 802.11,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2016.
 - [16] F. A. S. G. L. Frederico J.R Barboza, Aline M.S Andrade, “Specification and verification of the ieee 802.11 medium access control and analysis of its applicability to real-time systems,” *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2008.
 - [17] D. F. B. S. Stanford MUSARURWA, Attlee M. GAMUNDANI, “A review of security challenges for control of access to wi-fi networks in tertiary institutions,” *IST-Africa 2017 Conference Proceedings*, 2017.
 - [18] A. O. Akinlabi and M. Joseph, “Ict4d: Femtocells network versus wi-fi network for mobile communication,” *IEEE WiSPNET 2017*, 2017.
 - [19] B. R. T. Bala Murali Krishna K, Vanlin Sathya, “A dynamic link aggregation scheme for heterogeneous wireless networks,” *IEEE CONECCT2014*, 2014.
 - [20] P. B. M. Mahesh G, Gowrishankar, “Comprehensive call admission control tool for next generation wireless networks,” *2018 Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, 2018.
 - [21] S. G. Marco Conti, “Mobile ad hoc networking: Milestones, challenges, and new research directions,” *IEEE Communications Magazine*, 2014.
 - [22] K. Z. X. Z. Shaoqi Xia, Bing Chen, “Performance analysis of full-duplex d2d communications in multi-tier heterogeneous wireless networks,” *2017 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications and 2017 IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (ISPA/IUCC)*, 2017.
 - [23] A. J. Pedro Fernandez and A. F. Skarmeta, “Evaluation for ieee 802.15.4 and ieee 802.11 for smart cities,” *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 2013.
 - [24] L. Dai and X. Sun, “A unified analysis of ieee 802.11 dcf networks: Stability, throughput and delay,” *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING*, 2012.
 - [25] B. H. Song Liu and W. Pen, “A polling-based traffic-aware mac protocol for centralized full-duplex wireless network,” *IEEE Access*, 2018.
 - [26] *Cisco Wireless Controller Configuration Guide, Release 8.6*, 8th ed., CISCO, May 2018.

Nomenclatura

TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
ACK	Aknowledgment
APs	Access Points
BSA	Basic Service Set Area, área de cobertura de la celda.
BSS	Base Set Station
BSS	Basic Set Station, celdas.
BYOD	Bringing your own device
CARG	Compound Annual Growth Rate
CTS	Clear to Send
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	Distributed Inter-Frame Space
DL	Downlink
ESS	Extended Service Set, grupo de celdas.
FFT	Fast Fourier Transform

HEW's	High Efficiency Wireless Networks
HEWs	High Efficiency Wireless Networks
IBFD	In- Band Full Duplex
IBSS	Independent Base Set Station
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LOS	Line of Sigth
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad-Hoc Networks
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIMO-BC	Multiple Input Multiple Output- Broadcast
MIMO-MAC	Multiple Input Multiple Output- Media Acess Control
MU-MIMO	Multiple User- Multiple Input Multiple Output
NAK	Non -Aknowledgment
OBSS	Overlapping Base Set Station
OBSS	Overlapping Base Set Stations, celdas sobrelapadas unas con la otra.

OFDM	Orthogonal Frecuency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frecuency Division Multiple Access
PCF	Point Coordination Function
PHY	Physical Layer
PIFS	PCF Inter-Frame Space
QoS	Quality of Service
RTS	Request to send
SDM	Spatial Division Multiplexing
SIFS	Short Inter-Frame Spacing
STAs	Stations, estaciones, dsipositivos o nodos.
SU-MIMO	Single User- Multiple Input Multiple Output
UL	Uplink
VANET	Mobile Vehicular Ad-Hoc Networks